DAS VERHALTEN VON LATENZZEITEN SAKKADISCHER AUGENBEWEGUNGEN UNTER PSYCHOPHYSISCHEN BEANSPRUCHUNGEN

Gerhard Köhler

1979

Dissertations- und Fotodruck ANNELIESE SCHUBERT
Corneliusstraße 21 · 8000 München 5 · Telefon 268177

Aus dem Physiologischen Institut der Universität München
Vorstand: Prof. Dr.med. Klaus Thurau
Prof. Dr.med. Eckehart Gerlach
Prof. Dr.med. Gerrit ten Bruggencate

DAS VERHALTEN VON LATENZZEITEN SAKKADISCHER AUGENBEWEGUNGEN UNTER PSYCHOPHYSISCHEN BEANSPRUCHUNGEN

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin

an der Ludwig Maximilians-Universität München

vorgelegt von

Gerhard Köhler

aus

Asel

1979

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät

der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr.med. Gerhard Ulbrecht

Mitberichterstatter: Prof. Dr.med. Gerrit ten Bruggencate

Dekan: Prof. Dr.med. Wolfgang Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 12.06.1979

Meinen Eltern

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
I.	Einleitung	5
II.	Methodik	11
	Meßgerät	14
	Probandengruppen	15
III.	Ergebnisse	16
	Gruppe A - Flugzeugführer	16
	Gruppe B - Busfahrer	25
	Gruppe C - Fallschirmspringer	34
IV.	Diskussion	37
	Wirkung eines ernsten Luftzwischenfalls	39
	Latenzzeitverkürzungen	46
	Wirkung emotionaler Faktoren	46
V.	Schluß	50
VI.	Schlußbemerkungen	54
VII.	Anhang	56
VIII.	Zusammenfassung	57
IX.	Literatur	59

I. EINLEITUNG

Bei der Deutung der Kenngrößen sakkadischer Augenbewegungen wandelten sich die Ansichten der Autoren mit der Verfeinerung der Meßgenauigkeit. Erste Vorstellungen entwickelte der französische Philosoph und Mathematiker René DESCARTES bereits im Jahr 1626, wonach Augenbewegungen sich aus koordinierenden Tätigkeiten von mindestens zwei Augenmuskeln, einem Agonisten und einem Antagonisten, ergeben. DODGE/CLINE (1901) und DODGE (1903) beschrieben Sakkaden als Folge unabhängig voneinander ablaufender Aktivitäten von Agonisten und Antagonisten. WESTHEIMER (1954), HYDE (1959), ROBINSON (1964) und COOK/STARK (1968) konnten diese Auffassungen mit Hilfe verbesserter Untersuchungstechnik widerlegen. Die Elektrookulographie (EOG) wurde von BALOH (1976) als trägheitslose und deshalb genaue Meßmethode für sakkadische Augenbewegungen besonders herausgestellt. Hierbei ist es besonders vorteilhaft, daß der Kopf frei beweglich bleiben kann. Dagegen bestehen bei den photokinographischen Methoden, bei denen z.B. das Auge zugleich mit einem stationären oder bewegten Sehobjekt dargestellt werden muß, Anwendungsschwierigkeiten besonders an Arbeitsplätzen, an denen Augen- und Kopfbewegungen uneingeschränkt bleiben müssen. Die meisten Untersucher ziehen deshalb die Elektrookulographie mit situationsangepaßten Modifizierungen vor.

Die Flugsicherheit und die Erfüllung von Flugaufträgen, besonders mit Hochleistungskampfmaschinen, erfordern einen ständigen und zeitlich dichten Informationsfluß durch den visuellen und auditiven Kanal bei Piloten, Copiloten und Kampfbeobachtern. Diese Informationen müssen eindeutig sein, richtig identifiziert werden

und nach kritischer Auswertung zu Entscheidungen führen, die möglichst schnell und genau in situativ passende Handlungen umgesetzt werden.

Der Beschreibung der Faktoren, die den ungestörten Informationsfluß nach Inhalt und zeitlicher Dichte begrenzen, kommt eine entscheidende Bedeutung sowohl für die Flugsicherheit als auch für die Erfüllung einer Flugmission zu. Die meisten Informationen laufen über das visuelle System. Auch ist im visuellen Kanal die zeitliche Informationsdichte am größten. Die relevanten Informationen sind im gesamten Sehumfeld verteilt. Rumpf-, Kopf- und Augenbewegungen ermöglichen die kritische visuelle Kontrolle auf relevante Informationen im optischen Umfeld. Die hohe Sehschärfe bei fovealem Sehen ermöglicht es, aus den Informationsträgern im Blickfeld das Informationsangebot auszuschöpfen, wenn das Blickfeld mit dem zentralen Sehstrahlbündel entsprechend abgetastet wird. Das erfordert schnelle Folgen von Blicksprüngen. Damit wird die Leistungsqualität der Okulomotorik zu einem begrenzenden Faktor für die Frequenz der visuellen Informationsaufnahme.

Das okulomotorische System bewegt die Bulbi in schnellen Sprüngen, in langsamen Folge- und in Vergenzbewegungen. Die speziellen Anforderungen an die Okulomotorik in der Jet-Fliegerei beschrieben FITTS/JONES/MILTON (1950). Sie stellten fest, daß der Pilot einer einsitzigen Kampfmaschine während der Landephase etwa 100 Sakkaden/Minute benötigt, um die erforderlichen Informationen aufnehmen zu können. Eine zeitliche Verdünnung der Sakkadenfolge mindert proportional den Informationsfluß.

Die Zeitspanne zwischen einem peripher-retinalen Lichtreiz und dem Beginn der Augensprungbewegung, mit der dieses Signal fixiert werden soll, ist die Latenzzeit. Latenzzeitverlängerung, Minderung der Winkelgeschwindigkeit der Sakkade und Ungenauigkeit des sakkadischen Sprunges mit dadurch veranlaßten Korrektursakkaden verlängern die Gesamtzeit, die für die visuelle Aufnahme einer Informationsfolge erforderlich ist. Die daraus resultierende Verminderung der zeitlichen Informationsdichte verursacht Risiken und beeinträchtigt die Flugsicherheit. Nach MILTON (1952) legt das Flugzeug ca. 100 m zurück in der Zeit, die verstreicht, wenn der Pilot so schnell er kann Informationen im Cockpit von verschiedenen Orten des Instrumentenbrettes aufnehmen will. Dieser Zeitbedarf vergrößert sich, wenn der Sakkadensprung vom Instrumentenbrett auf ein Ziel außerhalb des Cockpits geht, also eine Vergenzbewegung einschließt.

Jeder den Informationsfluß während des Fliegens störende Faktor muß zur Gefahr werden, denn nach GERBERT (1973) ist die psychophysische Leistungsfähigkeit von Flugzeugführern von Flugzeugmustern, wie z.B. dem einsitzigen F 104 G (Starfighter), nahezu ausgeschöpft. CLARK (1971) wies durch subtile Auswertung von über 300 Flugzwischenfällen, über mehrere Jahre verteilt, nach, daß die Hauptursache von Zwischenfällen Desorientierung war. Sie war durch Überforderung der maximal möglichen visuellen Informationsaufnahmefrequenz verursacht.

In der Funktionsschleife der sakkadischen Augenbewegung werden die Winkelmaße zwischen Fovea centralis und dem Ort des Bildes auf der Retina umgesetzt in die Zeitdauer von efferenten Erregungssalven der motorischen Einheiten

der äußeren Augenmuskeln (KORNHUBER, 1970). Da während der Bewegung keine Korrekturen erfolgen, führt das im voraus berechnete Aktivierungsmaß der Augenmuskeln zu einer "ballistischen" Bewegung. Störungen dieser cerebellaren Verrechnungsprozesse, z.B. durch Alkohol oder Psychopharmaka (ATKINS, 1962; FRANCK-HANUSCH, 1969; ASCHOFF, 1968), können sowohl höheren Zeitbedarf für den Rechenprozeß als auch Ungenauigkeiten der Verrechnung mit der Notwendigkeit von Korrektursakkaden verursachen. Eine Beeinflussung durch den Tagesrhythmus ist bekannt (KRIS, 1960). Diese Größen sind durch die Elektrookulographie registrier- und meßbar.

Als Störgrößen können neben Pharmaka Alkohol, Tranquilizer, Sedativa, zentralnervöse Ermüdung, simultaner kompetitiver Informationsfluß über zwei Sinneskanäle und emotionale Alarmreaktionen in Betracht kommen. Es erhebt sich deshalb die Frage, ob zentralnervöse Ermüdung nach arbeitsplatzbedingter Beanspruchung durch Änderung der Zeitgrößen der Augensprungbewegungen angezeigt wird.

Die ermüdende mentale Beanspruchung mindert die Frequenz der maximal möglichen Aufnahme visueller Informationen, weil für die prüfende Abtastung des Sehfeldes mehr Zeit erforderlich ist. Es liegt nahe anzunehmen, daß der Betrag der Verlängerung positiv zum zentralnervösen Ermüdungsgrad korreliert.

Es besteht die allgemein anerkannte Auffassung, daß das Führen von Kraft- und Luftfahrzeugen psychophysisch stark beansprucht. Bei diesen komplexen Tätigkeiten kommt gerade der schnellen Verarbeitung eines frequenten visuellen Informationsflusses besondere Bedeutung zu.

Auf die Wichtigkeit der beobachtenden Komponente in den Tätigkeitsprofilen an vielen Arbeitsplätzen hat BARTENWERFER (1972) hingewiesen.

Wir haben deshalb die Sakkaden-Latenzzeiten bei Jet-Piloten vor und nach einem beanspruchenden Flugauftrag und bei Busfahrern öffentlicher Verkehrsmittel im Münchner Innenstadtbereich vor und nach ihrer Nachmittagsschicht gemessen.

Mögliche Störgrößen für die elektrookulographische Latenzzeitbestimmung sind Willkürmotorik der äußeren Augenmuskeln, vestibuläre und halspropriozeptive Einflüsse sowie der Lidschlag. Hierüber wurden vor Durchführung der Messungen an den verschiedenen Probandengruppen Erfahrungen in Selbstversuchen gesammelt. Die genannten Störgrößen wurden dann weitgehend durch die stabile Anordnung der Meßbedingungen in einem möglichst ruhigen Raum und durch die optische Homogenität des bei der Untersuchung angebotenen Gesichtsfeldes unterdrückt.

Die Störeinflüsse des Lidschlags sind gering. ZUBER und STARK (1966) haben gezeigt, daß der Lidschlag häufig mit der Sakkade zusammenfällt. Während der Sakkade sind jedoch visuelle Wahrnehmungen unterdrückt.

Die Sakkadenmotorik läuft in bestimmten Grenzen unbewußt ab (WESTHEIMER 1954, MACKENSEN 1958, VOISSIUS 1960, 1961). Zur Ausschaltung vestibulärer und halspropriozeptiver Einflüsse wurden die Blickwinkel der gemessenen Sakkaden in dieser Arbeit auf 20° nach rechts oder links von der Ruheblicklinie (personenbezogene X-Achse) begrenzt.

Ziel der vorgelegten Arbeit ist es, Fragen nach der Beeinflußbarkeit der Latenzzeiten von Sakkaden durch mentale und emotionale (Risikoerlebnis) Beanspruchung zu beantworten. Als Risikoerlebnis wurde der erste Fallschirmabsprung von Probanden gewählt. Ferner sollten Aufschlüsse über die Abhängigkeit der Latenzzeiten von Sakkaden vom Sprungwinkel und über Verteilungsmodalitäten von Latenzzeiten gefunden werden.

II. METHODIK

Das Bestehen eines cornea-retinalen Bestandspotentials bildet die Grundlage der Elektrookulographie. Befestigt man beidseitig temporal am äußeren Canthus je eine Elektrode und eine weitere an der Stirn zur Referenzerdung, so verursacht jede Verstellung des Bulbus eine Änderung des elektrischen Potentials im Bereich der Elektroden. Sie wird durch die beiden Elektroden meßbar. Bei guter Plazierung und günstigen anatomischen Verhältnissen ist die registrierte Spannung näherungsweise proportional zur Auslenkung des Auges in der Orbita. Die größten und am besten reproduzierbaren Potentiale treten bei horizontalen Augenbewegungen auf. Dieses Prinzip macht sich das Reaktionszeitmeßgerät der Augeneinstellbewegungszeit nach Dr. Meyer-Delius (Abbildung 1) zunutze. Durch Knopfdruck wird eine Uhr angestellt. Zugleich leuchtet ein "Landolt'scher Ring" in einem homogenen Graufeld auf. Er veranlaßt eine Augensprungbewegung zur fovealen Fixierung des Ringes. Das dabei entstehende Potential stoppt als Trigger die Digitaluhr. Die so gemessene Latenzzeit der Sakkade schließt die Zeit ein, die verstreicht, bis die Triggerschwelle des ansteigenden Potentials erreicht ist. Diese Zeit vom Beginn der Augenbewegung bis zum Erreichen des vorgewählten Triggerpotentials für den Uhr-Stop hängt als systematischer Fehler von der eingestellten Triggerhöhe ab (Tabelle 1). Verwendet wurde ein Schmitt-Trigger. Zur Überwachung der Stärke der EOG-Antwort und zur Vermeidung von Über- oder Untersteuerung bei der Einstellung der individuellen Ansprechempfindlichkeit dienen Leuchtdioden. Die von der Digitaluhr abgelesene Zeit wird handschriftlich protokolliert. Die Korrektheit der Augeneinstellrichtung wird zusätzlich über den Ausschlag des Zeigerinstrumentes überwacht.

Die VP blickt in einen Lichtschacht. Eine Gummimanschette schützt vor störendem Nebenlicht. Die aktuelle Sehweite beträgt 1,40 m. Die Leuchtdichte im Blickfeld ist konstant. Die VP fixiert die rot leuchtende Diode in Blickfeldmitte. Der Versuchsleiter kann jeweils eine von vier in der Horizontalen angeordnete weiße Dioden aufleuchten lassen. Sie liegen im Winkel von 10° bzw. 20° rechts und links von der roten Diode und sind als "Landolt'sche Ringe" ausgebildet. Die Lage der Ringöffnung legt der Experimentator durch entsprechende Tastenwahl jeweils fest. Die VP hat die Lage der Öffnung anzugeben. Sie ist auf schnelle foveale Fixierung des angebotenen Sehzieles motiviert.

Zur Gewinnung möglichst großer Potentialänderungen werden die Hautstellen vor Anbringen der Elektroden mit Reinbenzin gesäubert. Gegebenenfalls müssen Hornschichten vorher mit Schmirgelleinen entfernt oder es muß rasiert werden. Die runden Elektroden (2 r = 10 mm) werden mit doppelseitigen Klebestreifen auf der vorbehandelten Haut fixiert. Elektrodengel mindert den Übergangswiderstand. Die Zuleitung zum Verstärker im Einblickschacht ist 0,5 m lang und endet an 2-mm-Buchsen.

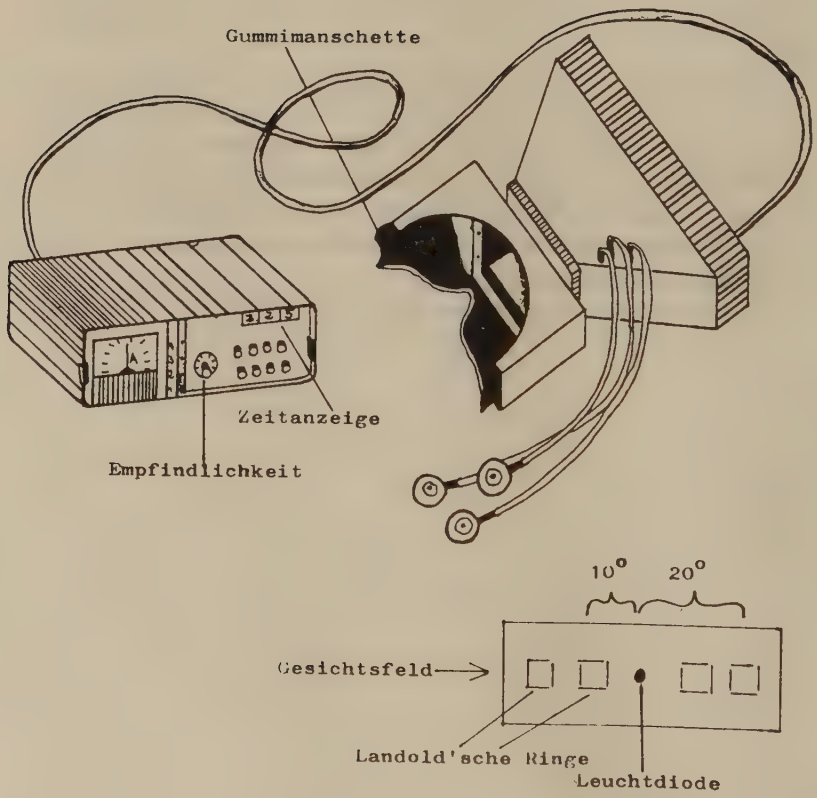
Tabelle 1

Trigger-einstellung	mittlerer systematischer Fehler (ms)	Standardabweichung des systematischen Fehlers ($\pm$ s)
4,0	22,34	($\pm$ 3,49)
4,5	17,16	($\pm$ 3,60)
5,0	8,15	($\pm$ 1,84)

Der systematische Fehler lag bei den Versuchsreihen der vorgelegten Arbeit mit 14.900 Einzelmessungen bei durchschnittlich 3 bis 8 % des digital angezeigten Meßwertes. Die Meßwerte wurden jeweils um den systematischen Fehler korrigiert.

Abbildung 1

Reaktionszeitmeßgerät der
Augeneinstellbewegungszeit
nach Dr. Meyer-Delius



Probandengruppen

Gruppe A:

35 Flugzeugführer einsitziger strahlgetriebener Kampfmaschinen vom Typ F 104 G (Starfighter) beim Luftzielschießen.

1. Messung: unmittelbar vor dem Start mit 30 Sakkaden (n = 30)
2. Messung: ca. 20 min. nach der Landung nach Entschärfen des Waffensystems mit 30 Sakkaden (n = 30)

Gruppe B:

49 Stadtbusfahrer des Münchner Verkehrs- und Tarifverbunds (MVV) im Cityverkehr Münchens

1. Messung: vor Beginn der Nachmittagsschicht mit 40 Sakkaden (n = 40)
2. Messung: nach 3 1/2 bis 4 Stunden Dienst mit 40 Sakkaden (n = 40)

Gruppe C:

38 Fallschirmspringer (Erstspringer) der Bundeswehr an der Luftlande-/Lufttransportschule

1. Messung: am Sprungtag vor Dienstbeginn gegen 06.30 h mit 30 Sakkaden (n = 30)
2. Messung: nach Anlage des Fallschirms unmittelbar vor Besteigen des Flugzeuges mit 30 Sakkaden (n = 30)
3. Messung: nach Aufsetzen am Boden und Ablegen des Fallschirms im Absprunggelände mit 30 Sakkaden (n = 30).

Es wurden ferner Messungen an 23 Gymnasiasten (1. Messung: n = 90; 2. Messung: n = 30) und an 22 Senioren (1. Messung: n = 90; 2. Messung: n = 30) durchgeführt (siehe Anhang).

III. ERGEBNISSE

Die Messungen der Gruppe A wurden im Mai 1977 auf dem Stützpunkt der deutschen Luftwaffe Decimomannu auf Sardinien durchgeführt. Die beiden Meßserien bestanden aus 30 Augeneinstellbewegungen mit 8 Sprüngen nach 20° links, 7 Sprüngen nach 10° links, 8 Sprüngen nach 10° rechts und 7 Sprüngen nach 20° rechts je Serie. Das mittlere Alter der Piloten lag bei 29 ± 4 Jahren.

Die Tabelle 2 zeigt die Latenzzeiten der Augensprungbewegungen von 35 Piloten. Die Beanspruchung der VP durch den Einsatzflug führte bei den 20°-Sprüngen richtungsunabhängig zu einer deutlich größeren Latenzzeitverlängerung von 24,8 ms bzw. 25,0 ms gegenüber 17,7 ms bzw. 17,6 ms bei den 10°-Sprüngen. Die Unterschiede der Latenzzeiten jeweils auf die Latenzzeit vor Beanspruchung bezogen wirkten sich nicht auf die Standardabweichungen und den relativen Variationskoeffizienten V_r aus.

Die relative Latenzzeitverlängerung in % beträgt richtungsunabhängig bei den Sprüngen nach $\pm 10^{\circ}$ 17,6 % und bei den Sprüngen nach $\pm 20^{\circ}$ 25,0 %.

Das Vorliegen eines Lerneffektes kann weitgehend ausgeschlossen werden, da der Korrelationskoeffizient der Beziehung zwischen Latenzzeit und Ordnungszahl der Messung bei 5 repräsentativen Stichproben vor und nach Beanspruchung $k \leq 0{,}06$ betrug.

Tabelle 2

Latenzzeiten der Augensprungbewegungen in der Gruppe A (35 Piloten) vor und nach einem Einsatzflug

Zahl der Messungen (n)	280		245		280		245		525		525		1050	
Blicksprungwinkel	- 20°		- 10°		+ 10°		+ 20°		± 20°		± 10°		Gesamt-Mittelwert	
Latenzzeit	$\bar{t}$	($\pm$ s)	$\bar{t}$	($\pm$ s)	$\bar{t}$	($\pm$ s)	$\bar{t}$	($\pm$ s)	$\bar{t}$	($\pm$ s)	$\bar{t}$	($\pm$ s)	$\bar{t}$	($\pm$ s)
vor Flug $\bar{t}_1$ (ms)	238	($\pm$32)	203	($\pm$28)	204	($\pm$24)	232	($\pm$29)	235	($\pm$31)	204	($\pm$26)	219	($\pm$34)
nach Flug $\bar{t}_2$ (ms)	297	($\pm$38)	239	($\pm$32)	240	($\pm$34)	290	($\pm$42)	294	($\pm$40)	240	($\pm$33)	266	($\pm$47)
$\Delta\bar{t} = \bar{t}_2 - \bar{t}_1$	59 ($p<0,001$)		36 ($p<0,001$)		36 ($p<0,001$)		58 ($p<0,001$)		59 ($p<0,001$)		36 ($p<0,001$)		47 ($p<0,001$)	
$\frac{\Delta\bar{t}}{\bar{t}_1} 100$	24,8		17,7		17,6		25,0		25,0		17,6		21,5	
Relativer Variations-Koeffizient für $\bar{t}_1$	0,80		0,88		0,70		0,80		0,80		0,80		0,48	
$V_r = \frac{s \cdot 100}{\bar{t}_{1,2} \cdot \sqrt{n-1}}$ für $\bar{t}_2$	0,77		0,86		0,85		0,93		0,85		0,86		0,55	

Die Beanspruchung der Flugzeugführer durch eine bestimmte Mission kann von der Flugerfahrung und vom Alter abhängen. In der Regel werden Flugerfahrung und Alter positiv miteinander korrelieren. Wenn die Latenzzeit der Augensprungbewegungen durch Beanspruchung beeinflußt wird, müssen Alter und Flugerfahrung modifizierend auf den Betrag der Latenzzeitveränderung wirken.

Die Tabelle 3 zeigt die lineare Regression und Korrelation in der Gruppe A (k = Korrelationskoeffizient).

Tabelle 3

X	Y	k
Alter	Latenzzeitverlängerung (ms)	0,625
Alter	Latenzzeitverlängerung (%)	0,63
Gesamtflugstunden	Latenzzeitverlängerung (ms)	0,49
Gesamtflugstunden	Latenzzeitverlängerung (%)	0,47
Jet-Flugstunden	Latenzzeitverlängerung (ms)	0,42
Jet-Flugstunden	Latenzzeitverlängerung (%)	0,41
Referenzwert ("Ruhewert")	Latenzzeitverlängerung (%)	0,18

Die mittlere Flugerfahrung betrug 1221 Jet-Flugstunden bzw. 1349 Gesamtflugstunden. Die geringste Flugerfahrung betrug 275 Jet-Flugstunden bzw. 590 Gesamtflugstunden, die größte 2965 Jet-Flugstunden bzw. 4400 Gesamtflugstunden.

Die Abbildungen 2a und 2b stellen das Alter in der Gruppe A der Latenzzeitveränderung in ms (Abbildung 2a) und die Latenzzeitveränderung in % (Abbildung 2b) gegenüber. Die unterschiedlichen individuellen Referenzwerte ("Ruhewerte") werden durch die prozentuale Darstellung der Latenzzeitveränderung eliminiert. Es besteht eine positive Korrelation zwischen dem Lebensalter und der Latenzzeitverlängerung durch die Flugmission.

Verteilung der Latenzzeiten in der Gruppe A

Die Häufigkeitsverteilung der 10-ms-Klassen aller 1050 Meßwerte vor bzw. nach Beanspruchung durch den Einsatzflug ergibt keine Gauß'sche Normalverteilung (Abbildung 3), sondern eine mehrmodale asymmetrische. Die Mehrmodalität ist bei den "Ruhewerten" geringer ausgeprägt. Ferner unterliegen die "Ruhewerte" einer geringeren Streuung ($s = \pm 34$ ms) und haben einen niedrigeren relativen Variationskoeffizienten ($V_r = 0{,}48$ %; Tabelle 2). Die Standardabweichung beträgt nach Beanspruchung durch den Einsatzflug $s = \pm 47$ ms ($V_r = 0{,}55$ %). Der Gipfel des Ruhewerthistogramms in Abbildung 3 zeigt sich nahe dem Mittelwert $\bar{t}_1 = 219$ ms. Der Mittelwert nach Beanspruchung $\bar{t}_2 = 266$ ms fällt zwischen die beiden am stärksten ausgeprägten Gipfel im Histogramm. Beide Histogramme weisen zur Seite längerer Latenzzeiten eine stärkere Streuung auf, als zur Seite kürzerer Latenzzeiten.

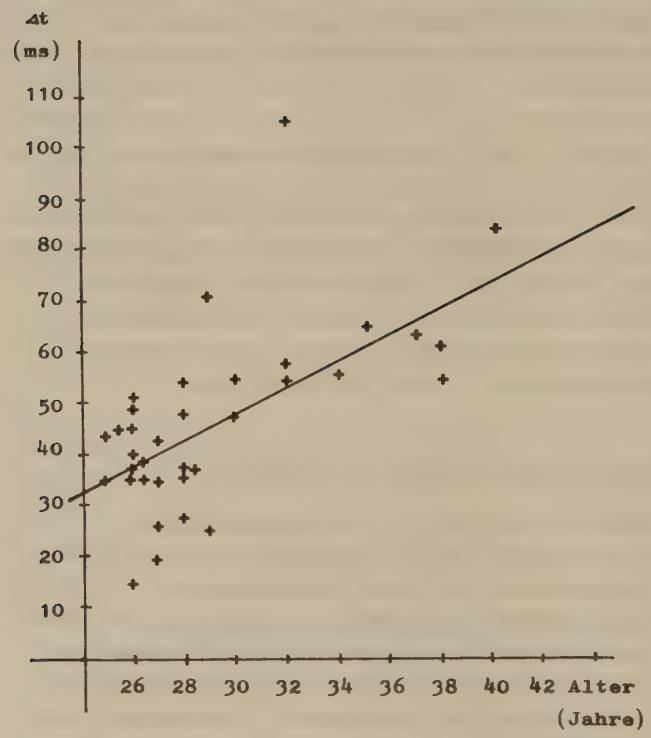


Abbildung 2a

Lineare Regression und Korrelation des Alters mit der Latenzzeitveränderung in ms in der Gruppe A (Streudiagramm).
Ordinate: Latenzzeitveränderung Δt (ms);
Abszisse: Alter (Jahre);
Regressionsgerade: $Y = 2{,}66\ X - 31{,}8$;
Korrelationskoeffizient: $k = 0{,}625$.

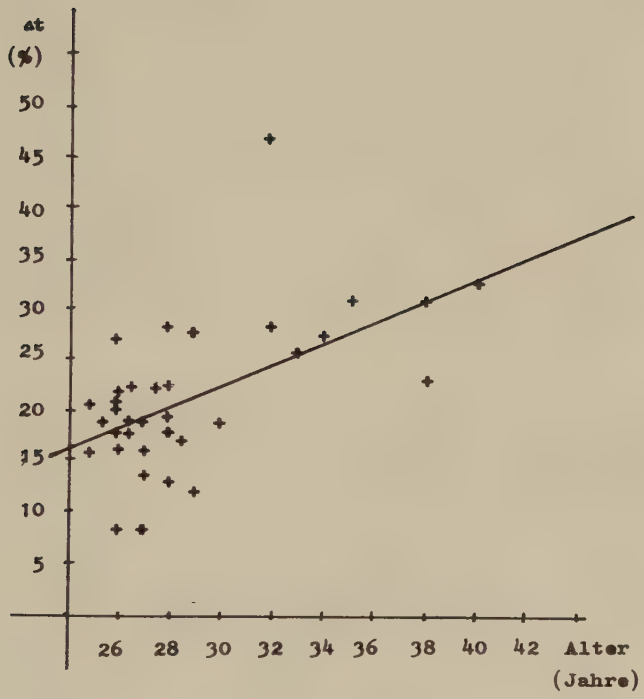


Abbildung 2b

Lineare Regression und Korrelation des Alters mit der relativen Latenzzeitveränderung (%) in der Gruppe A (Streudiagramm).
Ordinate: relative Latenzzeitveränderung (%);
Abszisse: Alter (Jahre);
Regressionsgerade: $Y = 1{,}14\ X - 12{,}48$;
Korrelationskoeffizient: $k = 0{,}631$.

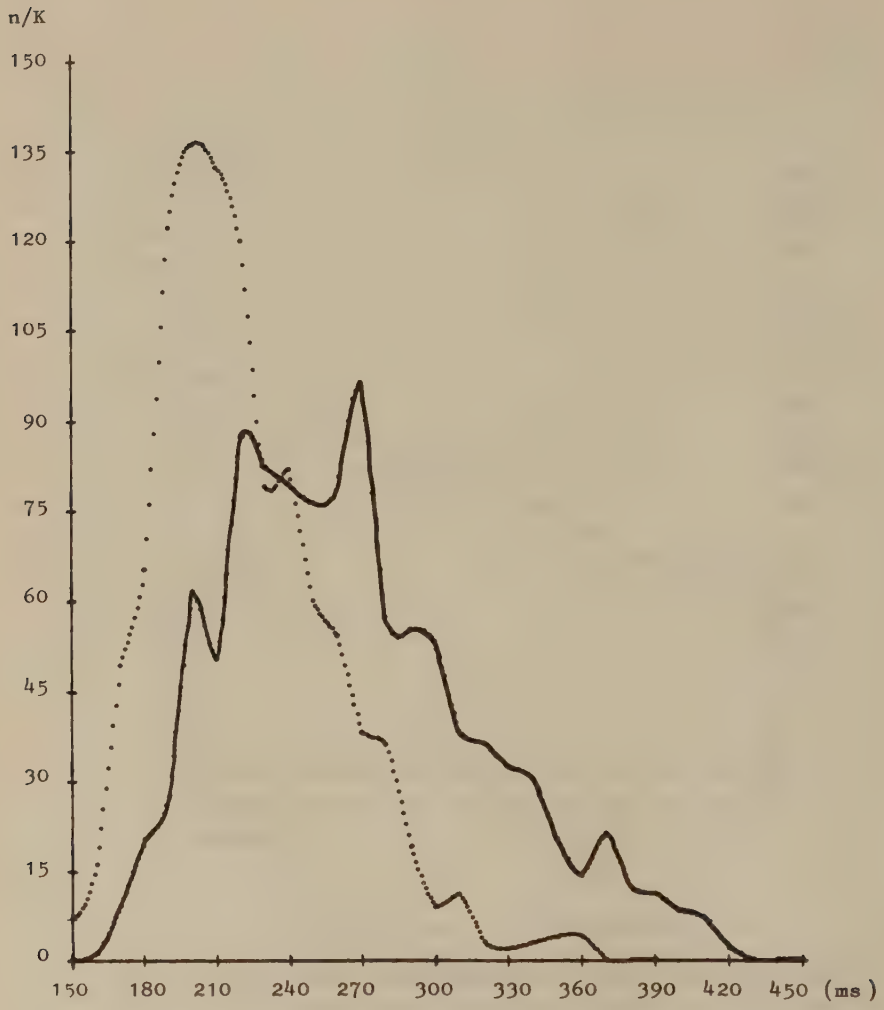


Abbildung 3

Histogramme der Latenzzeiten von Augensprungbewegungen in der Gruppe A vor (.....) und nach (————) Beanspruchung bei Aufteilung in Klassen à 10 ms.
Ordinate: Häufigkeit/Klasse (n/K);
Abszisse: Latenzzeit (ms).

Vergleicht man den Verlauf der Häufigkeitsverteilung der Ruhewerte und der Werte nach Beanspruchung miteinander, so erkennt man eine sich über die ganze Latenzzeitverteilung erstreckende Verschiebung des Histogramms nach Beanspruchung um ca. 47 ms zur Seite längerer Latenzzeiten. Interessanterweise kommt es nach Beanspruchung auch zu einer Verschiebung aller im Ruhewerthistogramm bereits vorhandenen Gipfel in Richtung zu längeren Latenzzeiten. Diese sind nach Beanspruchung stärker ausgeprägt als davor, wo sie zum Teil nur andeutungsweise erkennbar sind. Der Hauptgipfel des Ruhewerthistogramms wird nach Beanspruchung bimodal. Es kann angenommen werden, daß diese Bimodalität bereits vorher bestand.

Die Histogramme der Sakkaden-Latenzzeiten jedes einzelnen Piloten weisen ebenso wie die Histogramme der gesamten Gruppe nach Beanspruchung durch den Einsatzflug eine breitere Streuung auf. Ferner treten auch hier nach Beanspruchung Modalitäten hervor, die sich im Ruhewerthistogramm bereits andeuten (Abbildung 3). Beide Histogramme zeigen eine ausgeprägtere Streuung zur Seite längerer Latenzzeiten nach Beanspruchung. Repräsentativ für die Gruppe A ist in Abbildung 4 der typische Verteilungsverlauf der Latenzzeiten eines Probanden (Pilot Nr. 35) vor und nach seinem Einsatzflug dargestellt.

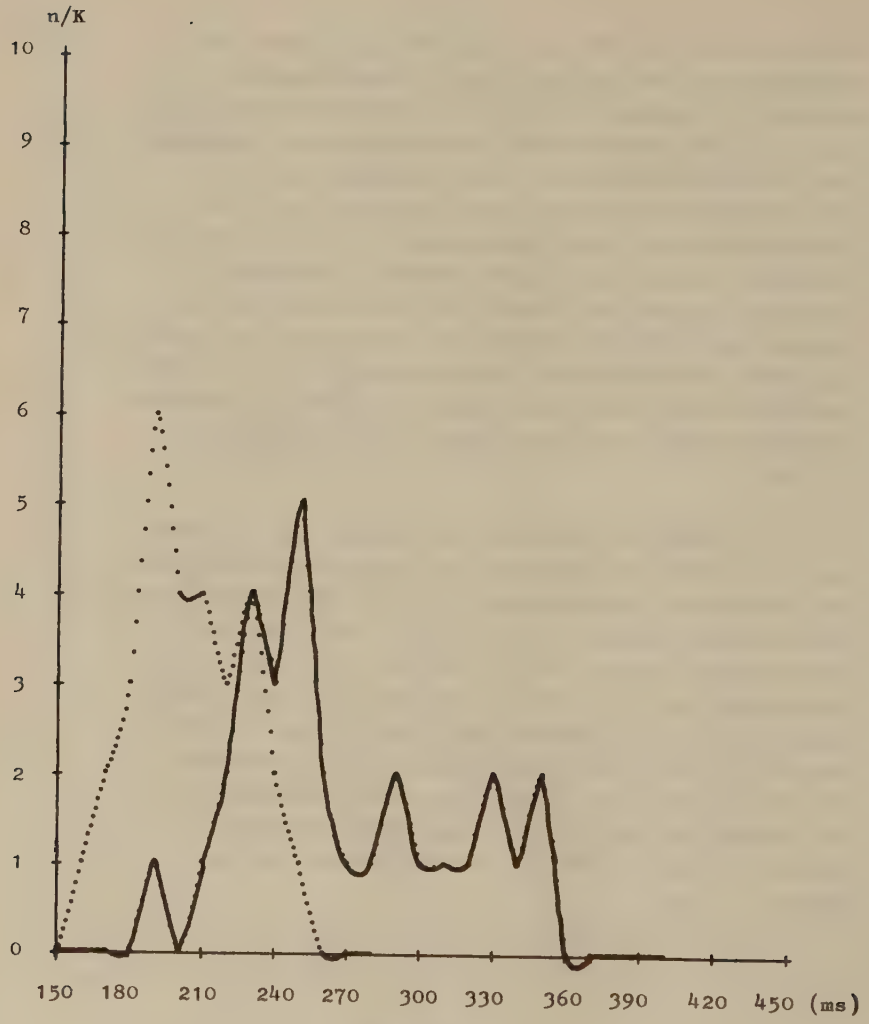


Abbildung 4

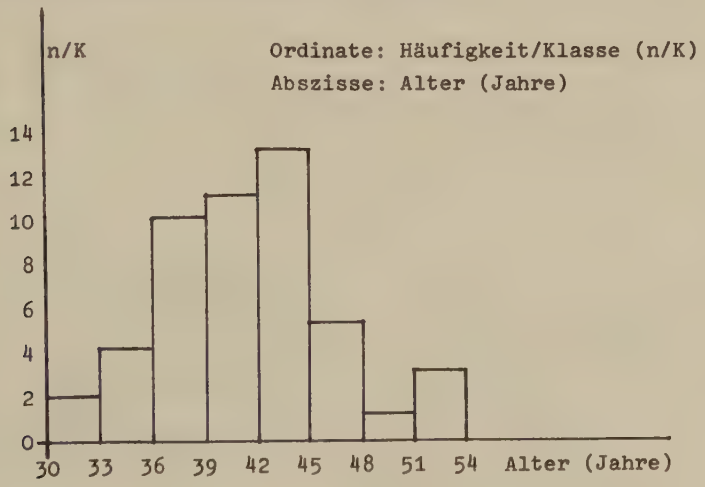
Repräsentatives Histogramm der Latenzzeiten von Augensprungbewegungen in der Gruppe A (Pilot Nr. 35) vor (.....) und nach (———) Beanspruchung bei Aufteilung in Klassen à 10 ms.
Ordinate: Häufigkeit/Klasse (n/K);
Abszisse: Latenzzeit (ms).

Die Messungen in der Gruppe B wurden in den Monaten Januar und Februar 1977 durchgeführt, jeweils vor Beginn der Nachmittagsschicht zwischen 13.00 h und 15.00 h und unmittelbar nach Schichtende zwischen 18.00 h und 21.00 h. Alle 49 Busfahrer waren im Bereich der Innenstadt von München fahrplanmäßig eingesetzt und fuhren durchschnittlich 3 1/2 bis 4 Stunden während der Zeit der Verkehrsspitzen des Feierabendverkehrs.

Das Lebensalter in der Gruppe B lag zwischen 30 und 52 Jahren bei einem Durchschnittsalter von 41 $\pm$ 5 Jahren. Die Altersverteilung ist in Abbildung 5 dargestellt.

Abbildung 5

Altersverteilung in der Gruppe B (n = 49)
bei Aufteilung in Klassen à 3 Jahren



Die lineare Regression und Korrelation zwischen Alter und Latenzzeitveränderung in ms in der Gruppe B ist in Abbildung 6 dargestellt. Es besteht keine Korrelation zwischen dem Lebensalter und der Latenzzeitverlängerung. Es ergibt sich für die Regressionsgerade $Y = 0{,}8\ X + 12{,}6$ ein Korrelationskoeffizient von $k = 0{,}18$. Da jedoch die Mittelwerthistogramme keine strengen Normalverteilungen darstellen, kann das Vorliegen einer Korrelation zwischen Alter und absoluter Latenzzeiterhöhung durch Beanspruchung auch nicht ausgeschlossen werden.

Es besteht in der Gruppe B ebenfalls keine Korrelation zwischen Referenzwerten ("Ruhewerte") $\bar{t}_1$ und dem Lebensalter. Der Korrelationskoeffizient beträgt $k = 0{,}08$. Das Vorliegen einer Korrelation kann hier zurückgewiesen werden.

Setzt man die Mittelwerte nach Beanspruchung $\bar{t}_2$ in Beziehung zum Alter, so erhält man einen Korrelationskoeffizienten von $k = 0{,}20$.

Bei Aufteilung der Mittelwerte der Sakkadenlatenzzeiten $\bar{t}_1$ und $\bar{t}_2$ in $t_1 > \bar{t}_1$ und in $t_1 < \bar{t}_1$ sowie in $t_2 > \bar{t}_2$ und $t_2 < \bar{t}_2$ ergeben sich zum Alter die in der Tabelle 4 aufgeführten Korrelationskoeffizienten.

Tabelle 4

Sakkaden-Latenzzeiten	Korrelation zum Alter (Korrelationskoeffizient)
Referenzwerte:	
$t_1 > \bar{t}_1$	$k < 0{,}1$
$t_1 < \bar{t}_1$	$k = 0{,}4$
Werte nach Beanspruchung:	
$t_2 > \bar{t}_2$	$k = 0{,}5$
$t_2 < \bar{t}_2$	$k < 0{,}1$

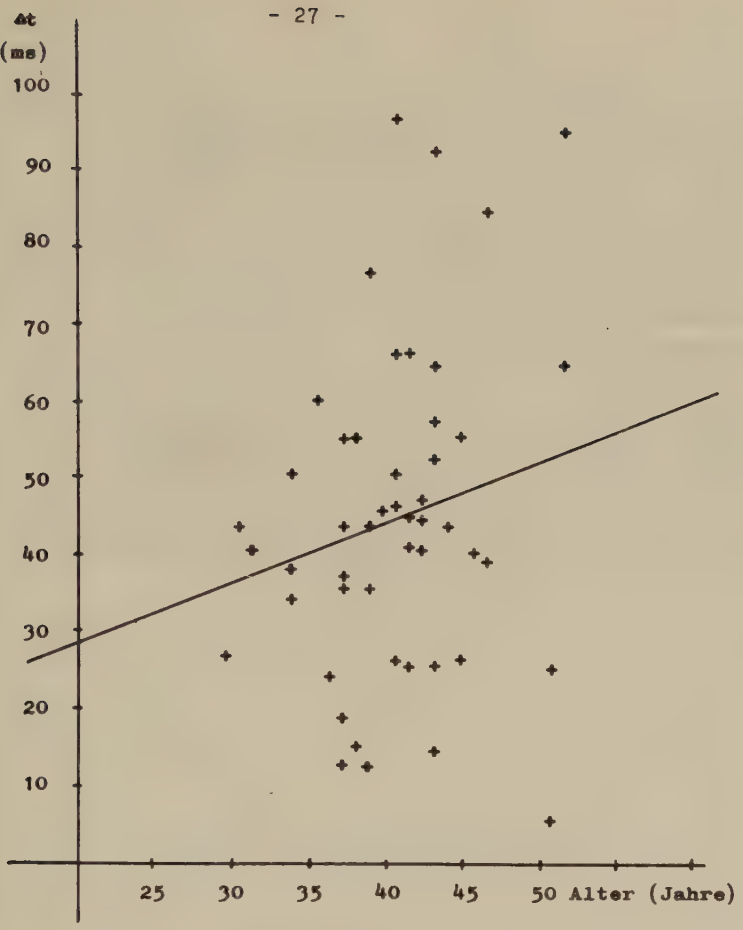


Abbildung 6

Lineare Regression und Korrelation des Alters mit der Latenzzeitveränderung in ms in der Gruppe B (Streudiagramm).
Ordinate: Latenzzeitveränderung Δt (ms);
Abszisse: Alter (Jahre);
Regressionsgerade: $Y = 0{,}8\ X + 12{,}6$;
Korrelationskoeffizient: $k = 0{,}18$.

Bei den Ruhewerten liegt für $t_1 < \bar{t}_1$ eine positive Korrelation zum Alter mit k = 0,4 vor; ebenfalls bei den Werten nach Beanspruchung mit k = 0,5 für $t_2 > \bar{t}_2$.

Die Meßwerte, die unmittelbar vor Fahrtbeginn gewonnen wurden, galten als Referenzwerte für die nach Schichtende aufgenommenen. Beide Serien bestanden aus je 40 Einzelmessungen je Proband. Vor Schichtbeginn betrug die mittlere Sakkaden-Latenzzeit $\bar{t}_1 = 225 \pm 33$ ms. Nach Schichtende war $\bar{t}_2 = 268 \pm 41$ ms. $\bar{t}_2$ war gegenüber $\bar{t}_1$ um $\Delta t = + 43$ ms verlängert. Die mittlere relative Latenzzeitverlängerung betrug 19,1 %. Das Verhalten der Latenzzeiten in der Gruppe B, aufgeschlüsselt nach Sprungwinkel und -richtung, ist in Tabelle 5 wiedergegeben.

Tabelle 5

Latenzzeiten der Augensprungbewegungen in der Gruppe B (49 Busfahrer) vor und nach Schicht

Zahl der Messungen	490		490		490		490		980		980		1960	
Blicksprungwinkel	- 20°		- 10°		+ 10°		+ 20°		± 20°		± 10°		Gesamt-Mittelwert	
Latenzzeiten	$\bar{t}$	($\pm$ s)	$\bar{t}$	($\pm$ s)	$\bar{t}$	($\pm$ s)	$\bar{t}$	($\pm$ s)	$\bar{t}$	($\pm$ s)	$\bar{t}$	($\pm$ s)	$\bar{t}$	($\pm$ s)
vor Schicht $\bar{t}_1$ (ms)	235	($\pm$22)	213	($\pm$27)	215	($\pm$33)	237	($\pm$36)	236	($\pm$30)	214	($\pm$30)	225	($\pm$33)
nach Schicht $\bar{t}_2$ (ms)	280	($\pm$43)	254	($\pm$39)	251	($\pm$38)	287	($\pm$44)	284	($\pm$44)	253	($\pm$39)	268	($\pm$41)
$\Delta\bar{t} = \bar{t}_2 - \bar{t}_1$	45 (p<0,001)		41 (p<0,001)		36 (p<0,001)		50 (p<0,001)		48 (p<0,001)		39 (p<0,001)		43 (p<0,001)	
$\frac{\Delta\bar{t}}{\bar{t}_1}$ 100	19,1		19,2		16,7		21,1		20,3		18,2		19,1	
Relativer Variations-Koeffizient für $\bar{t}_1$	0,83		0,75		0,90		0,89		0,86		0,83		0,33	
für $\bar{t}_2$	0,90		0,90		0,89		0,90		0,90		0,90		0,35	

$V_r = \frac{s \cdot 100}{\bar{t}_{1,2} \cdot \sqrt{n-1}}$

Bei Anwendung des t-Testes für korrelierende zweiseitige Stichproben zur Prüfung des Mittelwertunterschiedes bei Meßwertpaaren bei gleichen Probanden kann die H_0-Hypothese zurückgewiesen werden. Es ist bei jedem Sprungwinkel unabhängig von der Richtung und bei den Mittelwerten aller Augensprungbewegungen jeweils $p < 0{,}001$ (3920 Einzelmeßwerte), wodurch die Signifikanz der Mittelwertunterschiede charakterisiert ist.

Die Tabelle 5 zeigt, daß die Latenzzeiten und die beanspruchungsbedingten Latenzzeitverlängerungen bei den Sakkaden von $\pm$ 10° kleiner sind, als bei denen von $\pm$ 20°. Die prozentuale Latenzzeitverlängerung ist allerdings nicht vom Sprungwinkel abhängig. Dieses deutet darauf hin, daß eine Proportionalität besteht zwischen der Latenzzeitzunahme beim Übergang vom Sprungwinkel 10° auf 20° einerseits und durch die Beanspruchung innerhalb jedes Sprungwinkelbereiches andererseits. Die Standardabweichungen wachsen proportional mit den mittleren Latenzzeiten. Aus diesem Grund ändert sich der relative Variationskoeffizient nicht. Er beträgt für alle Mittelwerte aller Sprungwinkel

bei den Referenzwerten $V_r = 0{,}33\ \%$ und
nach Beanspruchung $V_r = 0{,}35\ \%$.

Bei Aufteilung der in der Gruppe B gemessenen mittleren Sakkadenlatenzzeiten der einzelnen Busfahrer in Klassen à 10 ms ergibt sich für die durchschnittlichen Referenzwerte ein unimodales Histogramm mit Maximum bei 215 ms (Abbildung 7). Die Häufigkeitsverteilung der Mittelwerte nach Beanspruchung zeigt dagegen einen bimodalen Verlauf mit zwei Hauptgipfeln bei 250 ms und bei 300 ms und eine breitere Streuung als die Ruhewerte (Abbildung 7). Die Meßergebnisse mit ihren Standardabweichungen sind der Tabelle 5 zu entnehmen.

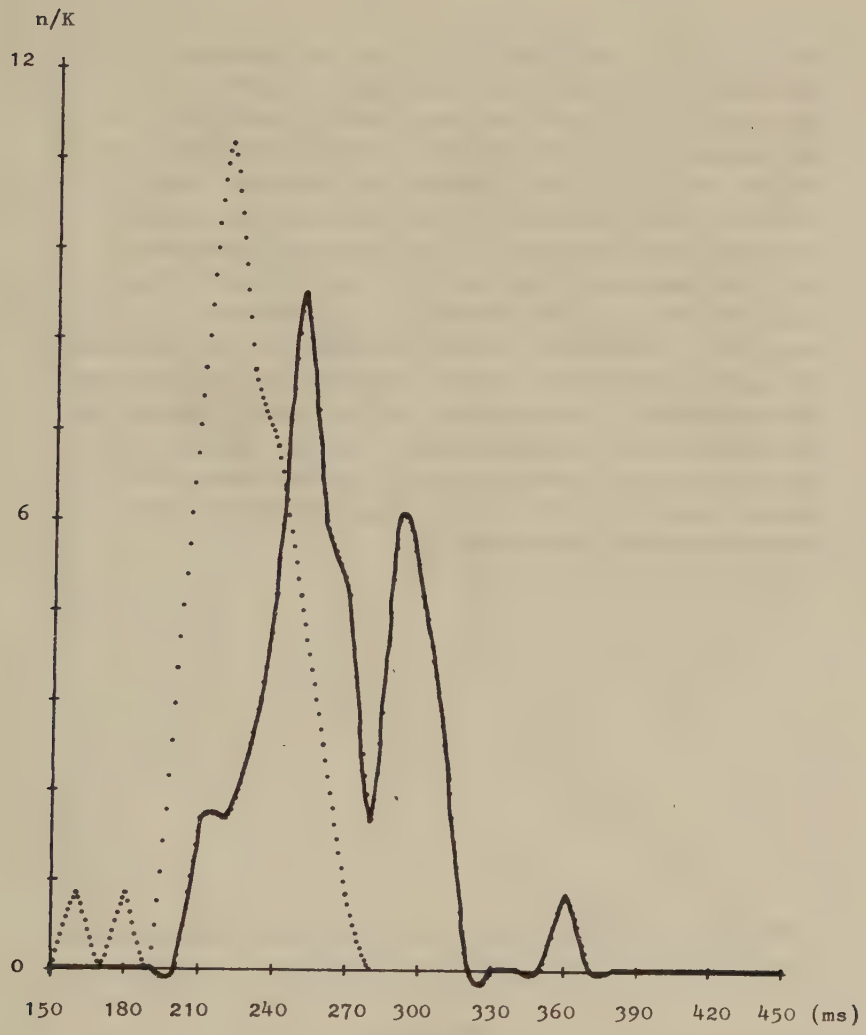


Abbildung 7

Histogramme der Latenzzeiten (Mittelwerte) von Augensprungbewegungen in der Gruppe B vor (.....) und nach (———) Beanspruchung bei Aufteilung in Klassen à 10 ms (n = 49).
Ordinate: Häufigkeit/Klasse (n/K);
Abszisse: Latenzzeit (ms).

Die Abbildung 8 zeigt die Verteilung der Latenzzeiten in der Gruppe B vor (n = 1960) und nach (n = 1960) Beanspruchung. Die Ruhewerthäufigkeitsverteilung R zeigt auf den ersten Blick einen unimodalen Verlauf mit einem Maxima bei 220 ms. Nur im Bereich der größeren Latenzzeiten zeichnen sich bei 300 ms und bei 340 ms weitere kleinere Gipfelbildungen ab. Im Histogramm der Meßwerte nach Beanspruchung B sind mehrere Gipfel stärker ausgeprägt. Es weist auf Multimodalität. Das Maximum ist in zwei Gipfel aufgelöst, die bei 245 ms und bei 265 ms liegen. Die sich in den Gipfelbildungen ausdrückenden Modalitäten des Histogramms B sind bereits im Histogramm R angedeutet. Histogramm B ist im Vergleich zu R breiter und um ca. 40 ms zur Seite längerer Latenzzeiten verschoben. Diese Verschiebung ist im Bereich der längeren Latenzzeiten etwas deutlicher ausgeprägt.

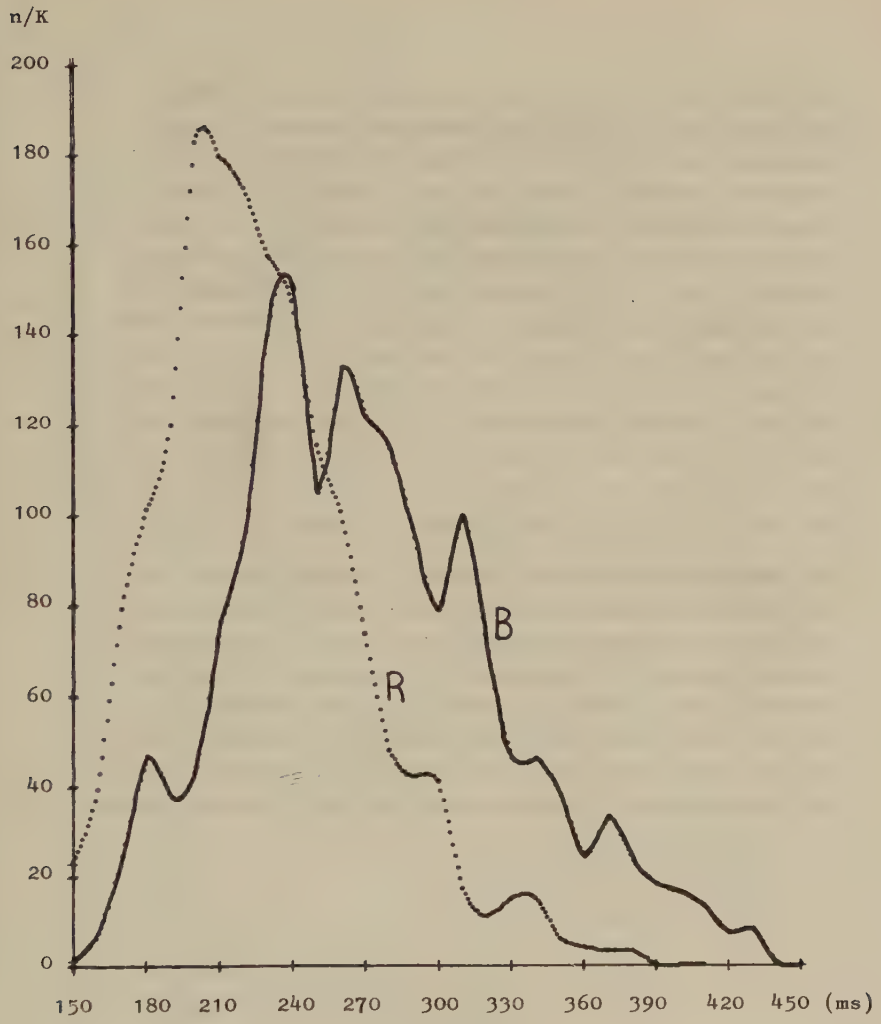


Abbildung 8

Histogramme der Latenzzeiten von Augensprungbewegungen in der Gruppe B vor (.....) und nach (———) Beanspruchung bei Aufteilung in Klassen à 10 ms (n = 1960).
Ordinate: Häufigkeit/Klasse (n/K);
Abszisse: Latenzzeit (ms).

Die Messungen in der Gruppe C fanden in den Monaten März/April 1977 statt. Als Probanden standen 38 Fallschirmspringer (Erstspringer) zur Verfügung. An jedem Probanden wurden 3 Meßserien durchgeführt. Die erste Serie diente als Referenzmessung (Ruhewerte) und wurde am Tag des ersten Sprunges gegen 06.30 h vor Dienstbeginn durchgeführt (= t_1). Die zweite Serie wurde unmittelbar vor Besteigen des Flugzeuges, aus dem abgesprungen wurde, nach Anlegen der Fallschirme durchgeführt (= t_2). Die dritte Meßserie erfolgte dann unmittelbar nach der Landung der Springer im Gelände (= t_3). Jede der drei Meßserien bestand aus 30 Einzelmessungen je Proband.

Das mittlere Alter in der Gruppe C betrug 22 $\pm$ 3 Jahre.

Die gemessenen mittleren Sakkaden-Latenzzeiten sind in der Tabelle 6 wiedergegeben. Die Messungen unmittelbar vor dem ersten Fallschirmabsprung zeigen die kürzesten Latenzzeiten und die geringste Standardabweichung. Die Erwartung des Risikos des ersten Fallschirmabsprunges wird vor Besteigen der Transportmaschine besonders bewußt. Es geht damit eine Latenzzeitverkürzung gegenüber der vorausgegangenen Referenzmessung und der folgenden Messung nach dem Sprung einher.

Die Tabelle 6 zeigt, daß

1) $\bar{t}_1 > \bar{t}_2 < \bar{t}_3$ (Latenzzeiten)

und

2) $\bar{s}_1 > \bar{s}_2 < \bar{s}_3$ (Standardabweichungen)

sind.

Tabelle 6

Latenzzeiten der Augensprungbewegungen in der Gruppe C
(38 Fallschirmerstspringer)

Zahl der Messungen (n)	304		266		304		266		1140	
Blicksprungwinkel	- 20°		- 10°		+ 10°		+ 20°		Gesamt-Mittelwert	
Latenzzeiten	$\bar{t}$	($\pm$ s)	$\bar{t}$	($\pm$ s)	$\bar{t}$	($\pm$ s)	$\bar{t}$	($\pm$ s)	$\bar{t}$	($\pm$ s)
1. Messung ($\bar{t}_1$) (n = 30) (ms)	236	($\pm$38)	225	($\pm$38)	240	($\pm$40)	235	($\pm$41)	231	($\pm$40)
2. Messung ($\bar{t}_2$) (n = 30) (ms)	217	($\pm$35)	208	($\pm$28)	210	($\pm$29)	221	($\pm$31)	214	($\pm$32)
3. Messung ($\bar{t}_3$) (n = 30) (ms)	226	($\pm$38)	219	($\pm$35)	219	($\pm$35)	227	($\pm$36)	223	($\pm$36)
$\Delta t_1 = \bar{t}_2 - \bar{t}_1$	-19		-17		-20		-14		-17	
	(p<0,05)		(p<0,02)		(p<0,05)		(p<0,02)		(p<0,01)	
$\Delta t_2 = \bar{t}_3 - \bar{t}_2$	+ 9		+11		+ 9		+ 6		+ 9	
	(p>0,5)		(p>0,5)		(0,25<p<0,5)		(0,25<p<0,5)		(0,25<p<0,5)	

Fortsetzung Tabelle 6

Blicksprungwinkel	- 20°	- 10°	+ 10°	+ 20°	Gesamt-Mittelwert
$\frac{\bar{\Delta t}_1}{\bar{t}_1}$ 100	- 8,1	- 7,6	- 8,7	- 6,0	- 7,4
$\frac{\bar{\Delta t}_2}{\bar{t}_2}$ 100	+ 4,1	+ 5,3	+ 4,3	+ 2,7	+ 4,2
Relativer Variations-Koeffizient (%) $V_r = \frac{s \cdot 100}{\bar{t}_{1,2,3} \cdot \sqrt{n-1}}$					
für $\bar{t}_1$	0,93	1,04	1,00	1,07	0,51
für $\bar{t}_2$	0,93	0,83	0,79	0,86	0,44
für $\bar{t}_3$	0,97	0,98	0,92	0,97	0,48

IV. DISKUSSION

Die untersuchten Gruppen stellen vorselektierte Stichprobenkollektive dar. Dies gilt besonders für die Jet-Piloten. Sie sind aufgrund der sehr spezialisierenden Fliegertauglichkeitsuntersuchung (Untersuchung auf Wehrfliegerverwendungsfähigkeit) ausgewählt worden und unterliegen während ihrer Dienstausübung einem ständigen Selektionsdruck. Die Auswahlkriterien der Busfahrer und Fallschirmspringer sind andersartig. Auf weitere gruppentypische Besonderheiten ist bereits hingewiesen worden. Die Tabelle 7 stellt die unterschiedlichen Bedingungen in den Gruppen und die Meßergebnisse einander gegenüber.

Die mittleren Lebensalter der drei Gruppen sind unterschiedlich. Die Streuung des Lebensalters innerhalb der einzelnen Gruppen war jeweils gering. Dadurch wurden die Kenngrößen einer möglichen linearen Regression mit hoher Korrelation gemindert. Die höchste Korrelation fand sich in Gruppe A, wo die Latenzzeitverlängerung nach Beanspruchung mit dem Lebensalter korreliert mit $k = 0{,}63$. Bei der Gruppe B lag der Korrelationskoeffizient bei $k = 0{,}18$. Die Gruppe C wies eine zu geringe Altersstreuung auf, um eine sinnvolle entsprechende Korrelation finden zu können.

Der bei der Beziehung der Latenzzeitverlängerung nach Beanspruchung zum Alter der Jet-Piloten gefundene hohe Korrelationskoeffizient von $k = 0{,}63$ läßt sich nicht allein durch das Lebensalter in der Gruppe A von 29 ± 4 Jahren erklären. Vielmehr liegt es nahe, eine multifaktorielle Ursache anzunehmen, wie sie in der verkehrsmedizinischen Betrachtung von Reaktionsverhalten als Unfallfaktor bereits von MAYER (1959) und PIPER (1962)

Tabelle 7

Besonderheiten und Ergebnisse in den Gruppen

Gruppe		A	B	C
Probandenzahl		35	49	38
Einzelmessungen	n_1	1050	1960	1140
	n_2	1050	1960	1140
	n_3	--	--	1140
Alter (Jahre)		29 $\pm$ 4	41 $\pm$ 5	22 $\pm$ 3
1. Messung $\bar{t}_1$ (ms)		219 $\pm$ 34	225 $\pm$ 33	231 $\pm$ 40
2. Messung $\bar{t}_2$ (ms)		266 $\pm$ 47	268 $\pm$ 41	214 $\pm$ 32
3. Messung $\bar{t}_3$ (ms)		-----	-----	223 $\pm$ 36
$\bar{t}_2 - \bar{t}_1$ (ms)		+ 47	+ 43	- 17
(t-Test)		$p<0,001$	$p<0,001$	$p<0,01$
$\bar{t}_3 - \bar{t}_2$ (ms)		-----	-----	+ 9
(t-Test)		-----	-----	$0,25<p<0,5$
$\frac{\bar{t}_2 - \bar{t}_1}{\bar{t}_1}$ 100 (%)		21,5	19,1	- 7,4
$\frac{\bar{t}_3 - \bar{t}_2}{\bar{t}_2}$ 100 (%)		-----	-----	+ 4,2
Korrelation: Alter/$\bar{t}_2$-$\bar{t}_1$	k =	+ 0,63	+ 0,18	-----
Korrelation: Flg-Std/$\bar{t}_2$-t_1	k =	+ 0,49	-----	-----
V_r für $\bar{t}_1$	(%)	0,48	0,33	0,51
V_r für $\bar{t}_2$	(%)	0,55	0,35	0,44
V_r für $\bar{t}_3$	(%)	-----	-----	0,48

diskutiert worden ist. Dieses wird durch die Tatsache untermauert, daß bei der Gruppe A ebenfalls eine hohe positive Korrelation der Latenzzeitverlängerung nach Beanspruchung zur Gesamtflugstundenzahl der Probanden bis zu diesem Einsatzflug mit einem Korrelationskoeffizienten von k = 0,49 bestand. Der größte Anteil dieses Korrelationskoeffizienten ist wahrscheinlich auf die Zahl der Jet-Flugstunden zurückzuführen, da bei ihrer alleinigen Berücksichtigung immer noch eine positive Korrelation von k = 0,41 gefunden wurde.

In der Gruppe A kam es beim Einsatzflug des Probanden Nr. 26 zu einem bedrohlichen Luftzwischenfall. Er zeigte nach der Landung eine signifikante Latenzzeitverkürzung statt einer -verlängerung. Diese war richtungs- und sprungwinkelunabhängig. Die mittlere Latenzzeitverkürzung lag bei 15,9 %. Eine Aufteilung der Meßwerte nach Richtung und Sprungwinkel zeigt die Tabelle 8. Eine Wiederholungsmessung am darauffolgenden Tag zur selben Tageszeit beim Probanden Nr. 26 nach einem ohne Zwischenfall verlaufenen Einsatzflug brachte ebenfalls eine Latenzzeitverlängerung um Δt = 19,7 %. Sie entspricht den Werten in Gruppe A (Tabelle 2). Die Ergebnisse der Kontrollmessung bei Probanden Nr. 26 sind in Tabelle 9 aufgeführt.

Dieser Einzelfall beansprucht Beachtung, weil er die Auswirkung einer selten vorkommenden maximalen Alarmreaktion auf den Zeitbedarf zentralnervöser Verarbeitungsprozesse anzeigt. Die Latenzzeit kann vermutlich durch starke emotionale Alarm-Stimuli verkürzt werden. Dieses deutet auf zwei gegensinnige Wirkungen. Die Beanspruchung verlängert und der "Alarm" verkürzt die unbewußt ablaufenden Verarbeitungsprozesse für den Bewegungsentwurf ballistischer Augensprungbewegungen.

Tabelle 8

Latenzzeiten der Augensprungbewegungen von Probanden Pilot Nr. 26
vor und nach einem Einsatzflug mit einem bedrohlichen Luftzwischenfall

Zahl der Messungen	8		7		8		7		30	
Blicksprungwinkel	- 20°		- 10°		+ 10°		+ 20°		Gesamt-Mittelwert	
Latenzzeiten	$\bar{t}$	($\pm$ s)	$\bar{t}$	($\pm$ s)	$\bar{t}$	($\pm$ s)	$\bar{t}$	($\pm$ s)	$\bar{t}$	($\pm$ s)
Vor Flug $\bar{t}_1$ (n = 30) (ms)	265	($\pm$23)	218	($\pm$35)	209	($\pm$31)	239	($\pm$20)	233	($\pm$25)
Nach Flug $\bar{t}_2$ (n = 30) (ms)	213	($\pm$23)	185	($\pm$18)	173	($\pm$ 8)	217	($\pm$40)	196	($\pm$39)
$\Delta t = \bar{t}_2 - \bar{t}_1$ (ms)	-52		-33		-36		-22		-37	
$\frac{\Delta t}{\bar{t}_1}$ 100	- 19,9		- 15,1		-17,2		- 9,2		- 15,9	
Relativer Variations-Koeffizient (%) $V_r = \frac{s \cdot 100}{\bar{t}_{1,2} \cdot \sqrt{n-1}}$										
für $\bar{t}_1$	3,3		6,6		5,6		3,4		2,0	
für $\bar{t}_2$	4,1		4,0		1,7		7,5		3,7	

Tabelle 9

Latenzzeiten der Augensprungbewegungen von Proband Pilot Nr. 26
vor und nach einem Einsatzflug ohne Zwischenfall

Zahl der Messungen	8		7		8		7		30	
Blicksprungwinkel	- 20°		- 10°		+ 10°		+ 20°		Gesamt-Mittelwert	
Latenzzeiten	$\bar{t}$	($\pm$ s)	$\bar{t}$	($\pm$ s)	$\bar{t}$	($\pm$ s)	$\bar{t}$	($\pm$ s)	$\bar{t}$	($\pm$ s)
Vor Flug $\bar{t}_1$ (n = 30) (ms)	259	($\pm$25)	210	($\pm$24)	211	($\pm$19)	237	($\pm$40)	228	($\pm$34)
Nach Flug $\bar{t}_2$ (n = 30) (ms)	288	($\pm$36)	266	($\pm$32)	257	($\pm$33)	281	($\pm$21)	273	($\pm$32)
$\Delta t = \bar{t}_2 - \bar{t}_1$ (ms)	29		56		46		44		45	
$\frac{\Delta t}{\bar{t}_1} 100$	11,2		26,7		21,8		18,6		19,7	
Relativer Variations-Koeffizient (%) $V_r = \frac{s \cdot 100}{\bar{t}_{1,2} \cdot \sqrt{n-1}}$										
für $\bar{t}_1$	3,6		4,7		3,4		6,9		2,8	
für $\bar{t}_2$	4,7		4,9		4,8		3,1		2,2	

Tabelle 10

Mittlere Latenzzeiten der Augensprungbewegungen von Proband Nr. 26 richtungsunabhängig nach $\pm$ 10° und $\pm$ 20° aufgeschlüsselt

Winkelgrad		$\pm$ 10° (ms)	$\pm$ 20° (ms)
Proband 26			
vor Flug mit bedrohlichem Luftzwischenfall (n = 30)	$\bar{t}_1$	214	252
nach Flug mit bedrohlichem Luftzwischenfall (n = 30)	$\bar{t}_2$	179	215
$\Delta t = \bar{t}_2 - \bar{t}_1$		- 35	- 37
Proband 26			
vor Flug ohne Zwischenfall (n = 30)	$\bar{t}_1$	211	248
nach Flug ohne Zwischenfall (n = 30)	$\bar{t}_2$	262	285
$\Delta t = \bar{t}_2 - \bar{t}_1$		51	37
Gruppe A (Gesamt)			
vor Flug (n = 525)	$\bar{t}_1$	204	235
nach Flug (n = 525)	$\bar{t}_2$	240	294
$\Delta t = \bar{t}_2 - \bar{t}_1$		36	59

Die bereits für die Gruppe A in Tabelle 2 dargestellte Unabhängigkeit der Latenzzeiten von der Richtung bei bestehender Abhängigkeit vom Winkelgrad bestätigt sich auch bei den Meßwerten, die beim Probanden Pilot Nr. 26 bei einem Einsatzflug mit bedrohlichem Luftzwischenfall gewonnen wurden (Tabelle 8). Die Latenzzeiten der Augensprungbewegungen von Proband Pilot Nr. 26 vor und nach einem Einsatzflug mit bedrohlichem Luftzwischenfall und vor und nach einem normal verlaufenden Einsatzflug sind in Tabelle 10 wiedergegeben, und zwar aufgeteilt in Sprünge nach $\pm$ 20° und in Sprünge nach $\pm$ 10°.

Nach Aufteilung der jeweils 30 Meßwerte bei Proband Nr. 26 vor und nach Flug mit bedrohlichem Luftzwischenfall und vor und nach Einsatzflug mit normalem Verlauf in Klassen à 10 ms ergeben sich vor Flug zwei vergleichbare Histogramme (Abbildung 9 und 10). Beider Maxima liegen im Bereich zwischen 220 ms und 240 ms. Bei der Häufigkeitspolygonanalyse zeigt das Polygon mit dem größten Latenzzeitmittelwert die weiteste Ausdehnung auf der Merkmalsachse, jedoch die geringsten Häufigkeiten in den einzelnen Merkmalsklassen.

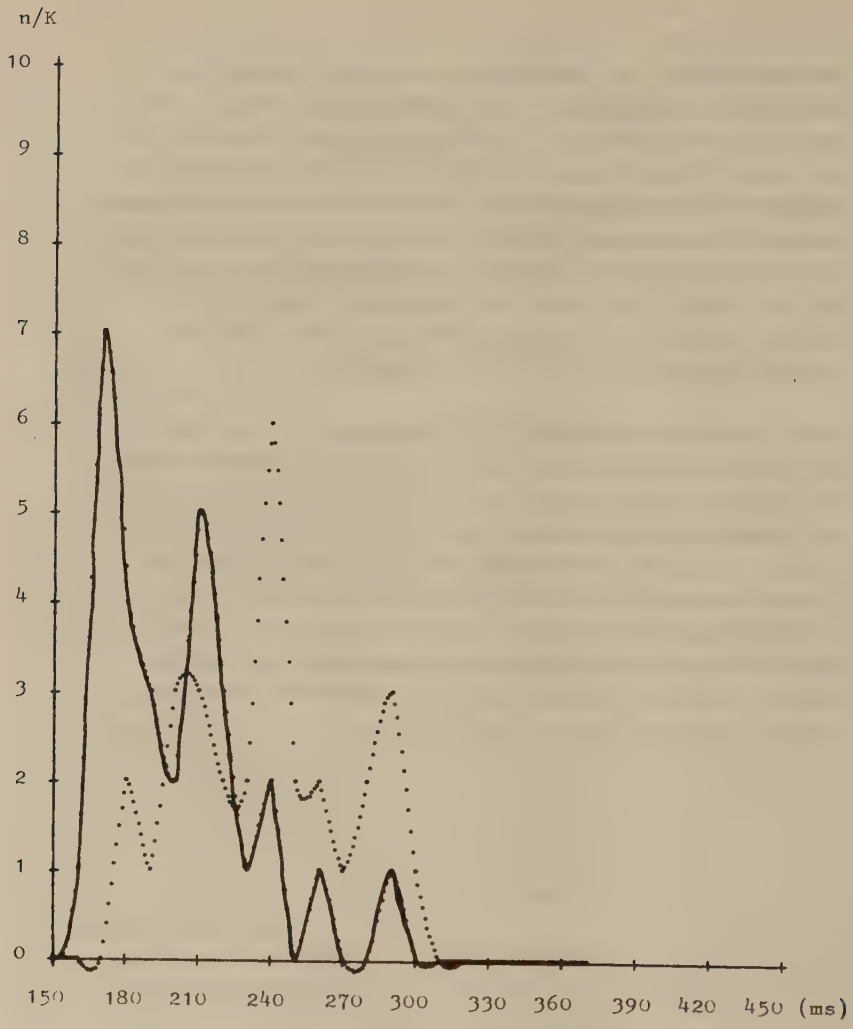


Abbildung 9

Histogramme der Latenzzeiten von Augensprungbewegungen bei Proband Nr. 26 vor (.....) und nach (———) Einsatzflug mit bedrohlichem Luftzwischenfall (n = 30).
Ordinate: Häufigkeit/Klasse (n/K);
Abszisse: Latenzzeit (ms).

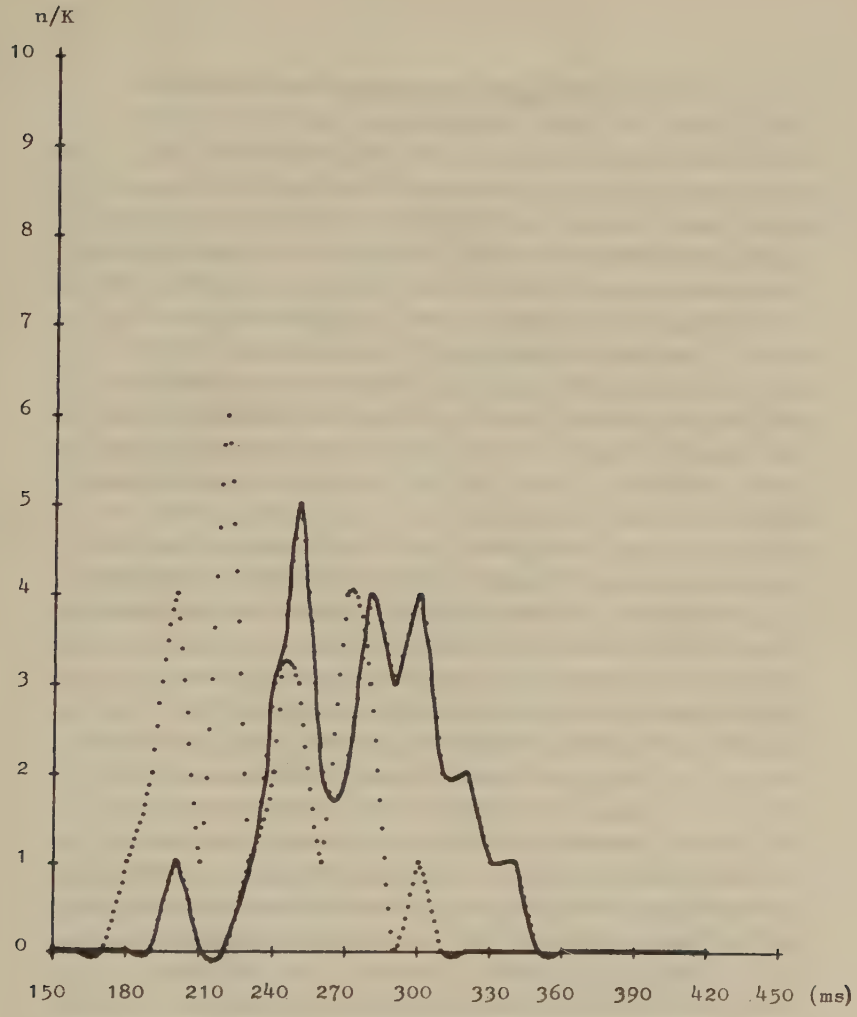


Abbildung 10

Histogramme der Latenzzeiten von Augensprungbewegungen bei Proband Nr. 26 vor (.....) und nach (_____) einem normal verlaufenen Einsatzflug (n = 30).
Ordinate: Häufigkeit/Klasse (n/K);
Abszisse: Latenzzeit (ms).

Die Latenzzeitverkürzungen von hoher Signifikanz bei dem Piloten nach einem bedrohlichen Luftzwischenfall und in der Gruppe C bei den Fallschirmspringern vor ihrem ersten Fallschirmabsprung (Tabelle 6 und 8) lassen unmittelbare Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen Erregungsniveaus, den Variablen der menschlichen Emotion und der Leistungsfähigkeit vermuten. DUFFY (1962) wies auf diesen Einfluß auf die Leistungsfähigkeit hin. MALMO (1959) und STRASSER (1974) beschrieben das Verhältnis zwischen Erregung und Leistung als umgekehrte U-Kurve. Nach diesen Autoren steigt die Leistungsfähigkeit des Menschen bei einer Erregungssteigerung bis zu einem bestimmten Niveau mit an. Wird es überschritten, kommt es zu einem Leistungsabfall. Nach HEBB (1958) ist die Leistung auf Höhe eines mittleren Erregungszustandes optimiert, während bei sehr hohen oder extrem niedrigen Erregungsgraden die zu erwartenden Leistungen geringer sind. LINDSLEY (1951) spricht sich dagegen aus, die emotional bedingten Aktivitätssteigerungen allein den Schwankungen des Wachheitsgrades zuzuordnen. Auch SIMONOV (1977) und SHIZUHIKO NISHITSATO (1966) beschreiben, daß ein bestimmter emotionaler Erregungsgrad die Leistungsfähigkeit steigern und die Fehlerzahl senken kann. Einen besonders starken Leistungsanstieg fanden sie, wenn durch Leistungssteigerung die extrem erhöhten Anforderungen in dem System überwunden werden mußten, in dem sie auch entstanden waren. So erhielt SIMONOV (1977) bei emotionaler affektiver Bewertung einer Gefahrensituation eine Steigerung der Leistungsfähigkeit und eine Abnahme der Fehlerquote um 15 % bei der Geschwindigkeit und Genauigkeit der Verarbeitung visuell aufgenommener Informationen. Bereits in der Entwicklungsphase der Stressituation beschreibt er ein Absinken der fehlerhaften Reaktionen. Auch SOKOLOV (1958) beschrieb

eine stressbedingte Reaktionsverbesserung.

GRAY (1964) untersuchte die Bedingungen, unter denen die Reaktionszeiten bei simultaner Stimulierung mehrerer Sinneskanäle geändert werden. Er fand zunächst eine Verkürzung der Reaktionszeit bei Zunahme der Reizintensität. Bei gleichzeitiger Reizung mehrerer Sinneskanäle konnte er noch stärkere Verkürzungen der Reaktionszeiten feststellen, als unter der Bedingung einer monomodalen Stimulierung. Bei einer kontinuierlichen Erhöhung der Zahl der stimulierten Rezeptoren erreichte er schließlich ein Minimum der Reaktionszeit, das nicht mehr unterschritten werden konnte.

Die an dem Piloten Nr. 26 unmittelbar nach einem bedrohlichen Luftzwischenfall und den Fallschirmspringern direkt vor ihrem ersten Absprung gemessenen Latenzzeitverkürzungen der Augensprungbewegungen können nach diesen Überlegungen durch den emotionalen Stress erklärt werden. Die in der vorgelegten Arbeit gemessene Latenzzeit ist ein Zeitglied der Reaktionszeit. Wird sie kleiner, kann auch die Reaktionszeit kürzer werden.

Die von SIMONOV (1977) aufgestellte Forderung, daß die emotionale Beanspruchung bei Untersuchungen im unmittelbaren Zusammenhang zur gerade ausgeübten Tätigkeit steht, bzw. im Idealfall ein Teil von ihr sein sollte, kann für den Piloten Nr. 26 und die Fallschirmspringer erfüllt werden. Art, Umfang und Zeitpunkt der emotionalen Belastung waren hier genau definiert und den Probanden bekannt. Ihr Eintritt war sicher oder sie war gerade abgelaufen. Ein unmittelbarer zeitlicher Zusammenhang bestand jeweils. Dem Piloten war aufgrund seiner Ausbildung und Flugerfahrung das Ausmaß der bestehenden Gefahr und die zeitliche Limitierung seiner Handlungs-

möglichkeiten genau bekannt. Den Fallschirmspringern war der genaue Ablauf ihres Absprunges durch vierzehntätiges Ganztags-Training bis in die kleinste letzte Bewegung bekannt gemacht worden. Bekannte Routinehandlungen wurden also nur von der Flugzeugattrappe am Boden in rund 800 m Höhe verlegt. Der Erstsprung ist also ein gedanklich genau vorprogrammiertes, bewegungsmäßig eingeübtes, definiertes, zeitlich ohne Überraschungseffekt eintretendes emotionales Stresserleben, wie es kaum in einer anderen Weise zu simulieren wäre. Ein Vergleich mit den Piloten vor einem Einsatzflug scheint nicht erlaubt, da bei ihnen mit zunehmender Flugerfahrung die Routine die für eine derartige Aussage erforderliche Emotion verdrängt hat.

Plötzlich auftretende existentielle Bedrohungen lassen sich also zunächst mit erhöhter Leistungsbereitschaft durch höhere Wachheit kompensieren (SIMONOV, 1977). Diese spiegelt sich bei den Fallschirmspringern vor ihrem Sprung in den Meßwerten wider, weil sie sich zu diesem Zeitpunkt in einer emotionellen Erwartungslage befinden. Bei dem Piloten Nr. 26 war dagegen der Zeitbedarf für das Abklingen seines Wachheitsgrades so groß, daß dieser von der Meßserie nach geglückter Landung noch erfaßt werden konnte. Den Einfluß einer Erwartungshaltung gegenüber bevorstehenden Reizen auf die Reaktionszeit hatte bereits im Jahre 1889 MÜNSTERBERG beim Gegenüberstellen von sich verlängernden und sich verkürzenden Reaktionszeiten erkannt. Er nannte dieses Phänomen "Prinzip der psychologischen Kausalität".

MALMO (1959) machte jedoch darauf aufmerksam, daß die Reaktionszeit sich als Ausdruck eines Leistungsabfalls verlängert, sobald eine bestimmte Beanspruchungsschwelle

überschritten ist. Zu der stressauslösenden Problemsituation, die nach Schwellenüberschreitung nicht mehr kompensiert werden kann, addiert sich die Reaktionszeitverlängerung und verschärft so die Problemsituation im Sinne des Beginns eines "circulus vitiosus".

V. SCHLUSS

Die in der vorgelegten Arbeit gemessenen sakkadischen Augenbewegungen stellen autonom ablaufende Reaktionen dar, die durch einen visuellen Reiz ausgelöst werden (ROBINSON, 1964, 1968). Nach Überschreiten eines bestimmten Schwellenwertes des optischen Reizes in einem umschriebenen Bereich der Retina kommt es zu einer stereotypen Folge neuraler Schaltungen auf festgelegten Bahnen, die mit der Sakkade enden. Der bis zum Beginn der Augensprungbewegung benötigte Zeitbedarf entspricht der gemessenen Latenzzeit. Eine Beeinflussung ist auch durch Übung nicht möglich (ASCHOFF, 1971; BALOH, 1976; ROBINSON, 1964). Dieses wird durch die Ergebnisse der vorgelegten Arbeit bestätigt, da der Korrelationskoeffizient der Beziehung zwischen Latenzzeit und Ordnungszahl der Messung bei fünf repräsentativen Stichproben in der Gruppe A vor und nach Beanspruchung $k \leq 0{,}06$ betrug. Die für die Sakkadenentscheidung benötigte Zeit ist jedoch vom momentanen Wachheitsgrad zum Zeitpunkt des Reizes abhängig (CARLOW, 1975). Ferner fand er eine Beeinflussung durch während der Latenzzeit einwirkende neue visuelle Informationen. Diese Störeinflüsse werden bei dem bei der vorgelegten Arbeit angewendeten Meßgerät nicht wirksam, da das Gesichtsfeld während der gesamten Meßreihe von 30 bis 90 Sakkaden je Serie und Proband nur und ausschließlich die Sakkaden auslösenden Stimuli aufweist. Akustische Stimuli konnten jedoch nicht eliminiert werden. Sie könnten über simultane Beanspruchung des auditiven Kanals den zeitlichen Ablauf der zur Sakkade führenden Erregungsprozesse beeinflussen. Die Verarbeitung der visuellen Stimuli zur motorischen Antwort in Form einer Sakkade soll nach KORNHUBER (1968, 1971) und KOMMEREL (1976) im Kleinhirn

erfolgen. Dabei muß ein Winkelmaß in eine Zeitgröße transponiert werden. Diese Zeitgröße stellt die Dauer der hochfrequenten Entladungssalve dar. Sie wird durch den erforderlichen Winkel der Sakkade bestimmt (BECHINGER, 1970). Dabei geht KORNHUBER (1971) von einer immer gleichen Aktionspotentialsfrequenz der für die Sakkade rekrutierten motorischen Einheiten aus. Diese Gleichheit der Entladungsfrequenz des okulären Motoneurons ist für Sakkaden zwischen 2^{o} und 40^{o} auch von SCHILLER (1970) beschrieben worden. Die okulomotorischen Motoneurone feuern bei sakkadischen Augenbewegungen immer mit der höchstmöglichen Entladungsrate (LUSCHEI, 1970; SCHILLER, 1970). Sie liegt bei Sakkaden von 2^{o} bis 40^{o} bei fast 300 Hz. (KORNHUBER, 1971). Dabei würde der in der Sakkade bestrichene Winkel allein von der Dauer der efferenten Erregungssalve der motorischen Einheiten abhängen. Der vor der Sakkade vom visuellen System gemessene benötigte Winkel würde also in eine Zeitgröße umgewandelt (KORNHUBER, 1971). Bereits BRAITENBERG (1958, 1961, 1961) hatte eine präsakkadische Tätigkeit der Kleinhirnrinde zur Vorbereitung der automatisierten ballistischen Sakkadenbewegung erkannt. Zu einer derartigen Funktion der Kleinhirnrinde würde auch das dortige Vorhandensein vieler Hemmungsmechanismen sprechen (ECCLES, 1969). Diese könnten den gegen Störungen abgeschirmten Ablauf des Sakkadenautomatismus erklären. Für eine solche Aufgabe der Kleinhirnrinde spricht auch der Umstand, daß isolierte Kleinhirnrindenatrophien zu Störungen im Sakkadensprungwinkel führen, ohne daß visuelle Beeinträchtigungen oder Lähmungen auftreten (KORNHUBER, 1968).

Ferner haben HELD (1970), DICHGANS/BRANDT (1974) und LEIBOWITZ/DICHGANS (1977) darauf hingewiesen, daß

retinal aufgenommene Stimuli an verschiedenen Orten verarbeitet werden, nämlich die des fovealen Sehens in der Sehrinde und die des umweltorientierenden "ambienten" Sehens im Mittelhirn. Die Projizierung des ambienten Sehens im Mittelhirn wiesen sie am Goldhamster nach.

Es muß jedoch eingewendet werden, daß eine Abhängigkeit der Sakkadenwinkelgeschwindigkeit vom Sakkadensprungwinkel festgestellt wurde (MACKENSEN, 1958; ROBINSON, 1964; BALOH, 1976). Eine Zunahme des Sakkadensprungwinkels bewirkt auch eine Tendenz zu längeren Latenzzeiten (BALOH, 1976; ASCHOFF, 1957). BALOH (1976) fand je 1° Anstieg des Winkels eine Zunahme der Sakkadendauer um 2,7 ms. Auch ist bekannt, daß die Ermüdungserscheinungen mit dem Sakkadensprungwinkel zunehmen (BAHILL/STARK, 1979). Diese Tendenzen wurden bei der Aufteilung der in der vorgelegten Arbeit gemessenen Latenzzeiten richtungsunabhängig nach Winkelgraden bestätigt (Tabelle 2, 5, 6). Eine Geschwindigkeitsänderung der Augensprungbewegung erfordert Änderungen der Erregungsfrequenz der motorischen Einheiten und/oder der Anzahl der zur Bewegung rekrutierten motorischen Einheiten.

In der Kleinhirnrinde selbst findet jedoch nur die Umwandlung des Winkelmaßes in die sakkadengemäße Zeitgröße statt. Die hierzu erforderlichen räumlichen Informationen werden vermutlich durch zu bestimmten Sakkadenamplituden gehörende Neuronen der tieferen Tectum-Schichten vom Cortex zum Kleinhirn geleitet. Hierfür spricht, daß bestimmte Tectum-Neurone nur bei bestimmten Sakkadengrößen beim Affen aktiv werden (WURZ/GOLDBERG, 1971). Den sakkadischen Augenbewegungen werden im Kleinhirn der mittlere Teil des Wurms und die Fissura prima, besonders die Lobuli V b, V c, VI sowie VII A

zugeordnet. Hier kann man durch elektrische Stimulation Sakkaden auslösen (HAMPSON, 1952). Auch die cerebellar-corticale Projektion von Augenmuskeln wurde gefunden (FUCHS, 1969). Über die beschriebenen Tectum-Neurone (WURTZ, 1971) besteht eine Verbindung zu den visuellen Feldern des Großhirns (SNIDER, 1952). Während die Kleinhirnrinde die diskontinuierlichen Sakkadenvorprogrammierungen vornimmt, regeln die Kleinhirnkerne die genaue Einhaltung der angestrebten Position (KORNHUBER, 1971) unter Berücksichtigung des jeweils erforderlichen Kraftaufwandes, bzw. des am bewegten Bulbus zu überwindenden Widerstandes. Dieser ist teilweise viskös (ROBINSON, 1969). Nach erreichter Fixierung am Ende der Sakkade muß diese Haltefunktion der Kleinhirnkerne jedoch aufgehoben werden, um weitere Sakkaden zu ermöglichen. Dies geschieht durch Hemmung über die Purkinje-Zellen der Kleinhirnrinde (ITO, 1964, 1964).

VI. SCHLUSSBEMERKUNGEN

Da es sich bei dem Reaktionszeitmeßgerät der Augeneinstellbewegungszeit (Abbildung 1) um ein kleines mobiles Meßgerät handelt, waren bei seinem Einsatz Störfaktoren, die sich nach CARLOW (1975) auf die Sakkadenentscheidung auswirken, nicht völlig zu vermeiden. Hier wären durch ein stationäres Gerät mit einem homogenen, unstrukturierten Gesichtsfeld in einem akustisch isolierten Raum genauere Ergebnisse zu erwarten. Interessant wäre es auch, einen Vergleich der in der vorgelegten Arbeit erhaltenen Meßwerte mit Latenzzeiten, die bei gleichzeitiger Beanspruchung eines zweiten Sinneskanals durch genau physikalisch definierte Reize gewonnen werden, vorzunehmen. Dazu würde sich der auditive Kanal anbieten. Dabei könnten bei simultaner Beanspruchung des auditiven Sinneskanals auditive Signale mit und ohne Informationsinhalt angeboten werden. Auditive Signale ohne Informationsinhalt wären weisses Rauschen, Motoren- oder Triebwerkslärm. Bei auditiven Signalen mit Beanspruchung höherer ZNS-Funktionen könnten einfache Rechenaufgaben gestellt oder Befehle zum Betätigen von Hand oder Fuß gegeben werden.

Die Methode der Messung der Latenzzeiten von sakkadischen Augenbewegungen könnte als Funktionstest für die beteiligten Hirnareale eingesetzt werden. Nach BALOH (1976) könnten derartige Messungen als sensitiv quantitativer Test bei Gehirnstammdysfunktionen durchgeführt werden. An anderer Stelle beschrieb BALOH (1976) die mögliche Eignung als Funktionstest für das extraokuläre System. Auf diese Anwendungsmöglichkeiten weisen weiter hin TROOST (1972), DEJONG (1971), VON NORDEN (1966) sowie nachmals BALOH (1976). Voraussetzung für

einen solchen klinischen Funktionstest ist jedoch, daß Normalwerte für die Latenzzeiten von Sakkaden vorliegen. Besonders CARLOW (1975) wies auf die von verschiedenen Autoren unterschiedlich angegebenen Latenzzeiten hin. HACKMANN (1940) hatte bereits darauf aufmerksam gemacht, daß für diese Unterschiede die verschiedenartige Methodik verantwortlich ist.

Als gemessene Werte wurden für Sakkadenlatenzzeiten bisher angegeben 120 bis 180 ms von WESTHEIMER (1954), ca. 200 ms von ROBINSON (1968), ca. 150 ms von ASCHOFF (1968), ca. 200 ms von BALOH (1976) und Werte leicht über 200 ms von WHITE (1962), SASLOW (1967) und ASCHOFF (1957).

Die in der vorgelegten Arbeit gefundenen Latenzzeiten (Ruhewerte) lagen in der Gruppe A bei 219 $\pm$ 34 ms, in der Gruppe B bei 225 $\pm$ 33 ms und in der Gruppe C bei 231 $\pm$ 40 ms (Tabelle 7).

VII. ANHANG

Neben den in der vorgelegten Arbeit bereits beschriebenen Messungen in den Gruppen A, B und C wurden weitere an 23 Gymnasiasten im Alter von 16 bzw. 17 Jahren und an 22 Senioren im Alter von 75 $\pm$ 6 Jahren durchgeführt. Sie wurden durch einen 20 bzw. 25 Minuten dauernden PAULI-Test beansprucht. Die gewonnenen Meßergebnisse mußten wegen ihrer großen Streuung verworfen werden.

Hierfür liefern die Untersuchungen von FIGOY (1960) eine Erklärung. Er fand, daß das sensomotorische Koordinationsvermögen erst im Alter von 25 Jahren voll ausgereift ist und mit 45 Jahren nachzulassen beginnt. Im Gegensatz zu den Probanden der Gruppen A, B und C fielen die Gymnasiasten in die Altersspanne vor Abschluß der Ausreifung des sensomotorischen Koordinationsvermögens und die Senioren in die Altersklasse weitab vom Beginn des Nachlassens dieser sensomotorischen Leistungsfähigkeit.

VIII. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorgelegten Arbeit wurden die Latenzzeiten von insgesamt 14.900 sakkadischen Augenbewegungen mit Sprüngen nach 10° bzw. 20° rechts und links bestimmt. Als Probandengruppen standen in der Gruppe A 35 Flugzeugführer einsitziger strahlgetriebener Kampfmaschinen vom Typ F 104 G (Starfighter) beim Luftzielschießen, in der Gruppe B 49 Stadtbusfahrer im Münchner Feierabendsverkehr und in der Gruppe C 38 Fallschirmspringer (Erstspringer) zur Verfügung.

In den Gruppen wurden Meßwerte vor und nach Beanspruchung gewonnen. Diese bestand in der Gruppe A in einem Einsatzflug, in der Gruppe B in einer normalen Nachmittagsschicht im Münchner Berufsverkehr und in der Gruppe C in einem Fallschirmabsprung (Erstsprung). In der Gruppe C wurde zusätzlich eine Messung unmittelbar vor dem Fallschirmabsprung zur Erfassung einer möglichen Erwartungsemotion durchgeführt.

Es kam richtungs- und sprungwinkelunabhängig in der Gruppe A zu einer Latenzzeitverlängerung um Δt = 47 ms ($p < 0{,}001$) von $\bar{t}_1$ = 219 ms ($\pm$ 34) auf $\bar{t}_2$ = 266 ms ($\pm$ 47) und in der Gruppe B zu einer Latenzzeitverlängerung um Δt = 43 ms ($p < 0{,}001$) von $\bar{t}_1$ = 225 ms ($\pm$ 33) auf $\bar{t}_2$ = 268 ms ($\pm$ 41).

In der Gruppe A kam es beim Einsatzflug eines Piloten zu einem bedrohlichen Luftzwischenfall. Bei ihm zeigte sich nach Landung eine signifikante richtungs- und sprungwinkelunabhängige Latenzzeitverkürzung statt einer -verlängerung um Δt = - 37 ms von $\bar{t}_1$ = 233 ms ($\pm$ 25) auf $\bar{t}_2$ = 196 ms ($\pm$ 39). Bei einer Kontroll-

messung unter gleichen Bedingungen nach einem normal verlaufenen Einsatzflug zeigte er ebenfalls eine Latenzzeitverlängerung um Δt = 45 ms von $\bar{t}_1$ = 228 ms ($\pm$ 34) auf $\bar{t}_2$ = 273 ms ($\pm$ 32). Die Latenzzeit wurde offensichtlich durch emotionale Alarm-Stimuli verkürzt. Dieses bestätigte sich in der Gruppe C, wo es unmittelbar vor dem Fallschirmabsprung (Erstsprung) ebenfalls zu einer Latenzzeitverkürzung um Δt = - 17 ms ($p < 0{,}01$) von $\bar{t}_1$ = 231 ms ($\pm$ 40) auf $\bar{t}_2$ = 214 ms ($\pm$ 32) kam. Die Beanspruchung verlängert und der Alarm verkürzt die unbewußt ablaufenden Verarbeitungsprozesse für den Bewegungsentwurf ballistischer Augenbewegungen.
Es liegt eine positive Korrelation zwischen dem Lebensalter und der Latenzzeitveränderung von k = 0,63 (Gruppe A) und k = 0,18 (Gruppe B) vor. Die geringe Altersstreuung in der Gruppe C erlaubt keine entsprechende Korrelationsbestimmung.

Latenzzeit und Sprungrichtung sind voneinander unabhängig. Die Latenzzeit nahm jedoch mit dem Sprungwinkel zu. Die Latenzzeit vor Beanspruchung betrug bei Sprüngen nach $\pm$ 10° in der Gruppe A 204 ms ($\pm$ 26), in der Gruppe B 214 ms ($\pm$ 30) und in der Gruppe C 232 ms ($\pm$ 39) sowie bei Sprüngen nach $\pm$ 20° in der Gruppe A 235 ms ($\pm$ 31), in der Gruppe B 236 ms ($\pm$ 30) und in der Gruppe C 235 ms ($\pm$ 39). Nach Beanspruchung wurden gemessen bei Sprüngen nach $\pm$ 10° in der Gruppe A 240 ms ($\pm$ 33) und in der Gruppe B 253 ms ($\pm$ 39) sowie bei den Sprüngen nach $\pm$ 20° in der Gruppe A 294 ms ($\pm$ 40) und in der Gruppe B 284 ms ($\pm$ 44).

IX. LITERATUR

ASCHOFF, J.C. (1968)
Veränderungen rascher Blickbewegungen (Sakkaden) beim Menschen unter Diazepam (Valium).
Arch. Psychiatr. Nervenkr. 211, S. 325-332

- (1971)
Phänomene sakkadischer Augenbewegungen in ihrer Bedeutung in der Flugmedizin.
Zbl. Verkehrs.-Med. 17, S. 129-137

- , W. Becker, D. Weinert (1957)
Computer analysis of eye movements: Evalution of the state of alertness and vigelance after sulpride medication.
J. Pharmacol. Clin. 2, S. 93-97

ATKINS, S. (1962)
Variation in the velocity of ocular fixation shifts with change of "level of alertness".
Preliminary study 1962

BAHILL, A.T., L. Stark (1979)
Sakkadische Augenbewegungen.
Spektrum der Wissenschaft, SCIENTIFIC AMERICAN, H. 3, S. 58-66

BALOH, R.W., V. Honrubia (1976)
Reaction time and accuracy of the saccadic eye movement of normal subjects in a moving-target task.
Aviat. Space Environ. Med. 47 (11), S. 1165-1167

BALOH, R.W., W.E. Kumley (1976)
Algorithm for Analysis of Saccadic Eye Movements Using Digital Computer.
Aviat. Space Environ. Med. 47 (5), S. 523-527

- , H.R. Konrad, V. Honrubia (1976)
Vestibuloocular functions in patients with cerebellar atrophy.
Neurology (Minneap.) 25, S. 160-168

- , A.W. Sills, W.E. Kumley, V. Honrubia (1976)
Quantitative measurement of saccade amplitude, duration, and velocity.
Neurology 25, S. 1065-1070

BARTENWERFER, H. (1973)
Begriffliche Übersicht über Fragen der mentalen Belastung und Beanspruchung.
In: Bericht über 12. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin in Dortmund, 1972.
Genter-Verlag Stuttgart

BECHINGER, D., G. Kongehl, H.H. Kornhuber (1970)
Visual information transmission in man: anisotropy of directions in the visual field; exponential distribution of stimuli optimal for perception of length; two points sufficient for optimal transmission of length but not of direction.
Pflügers Arch. 316, R. 94

BRAITENBERG, V. (1961)
Functional interpretation of cerebellar histology.
Nature (Lond.) 190, S. 539-540

BRAITENBERG, V. (1961)
Funktionelle Deutung von Strukturen in der grauen Substanz des Nervensystems.
Naturwissenschaften 48, S. 489-496

- , R.P. Atwood (1958)
Morphological observation on the cerebellar cortex.
J. comp. Neurol. 109, S. 1-34

CARLOW, T., L.F. Dell'osso, R.B. Troost, Daroff, J.E. Birkett (1975)
Saccadic eye movements latencies to multimodal stimuli. Intersubject variability and temporal efficiency.
Vision Research Vol. 15, S. 1257-1262

CLARK, B. (1971)
Disorientation incidents reported by military pilots across fourteen years in flights.
AGARD Conference proceedings, No. 95, A 1

COOK, G., L. Stark (1968)
The human eye-movement mechanism: Experiments, modeling and model testing.
Arch. Ophthalmol. 79, S. 428-436

DEJONG, J.D., G.M. Jones (1971)
Akinesia, hypokinesia, and bradykinesia in the oculomotor system of patients with Parkinson's desease.
Exp. Neurol. 32, S. 58-68

DESCARTES, R. (1626)
In: Bahill, A.T., L. Stark (1979)
Spektrum der Wissenschaft, H. 3/1979, S. 58-66

DICHGANS, J., Th. Brandt (1974)
The psychophysics of visually induced perception of selfmotion and tilt.
In: F.O. Schmitt und F.G. Worden (eds.)
The Neurociences.
MIT Press Cambridge, Mass.

DODGE, R. (1903)
Five types of eye movement in horizontal meridian plane of the field of regard.
Am. J. Physiol. 8, S. 307-329

- , T.S. Cline (1901)
The angle velocity of eye movements.
Psychol. Rev. 8, S. 145-157

DUFFY, E. (1962)
Activation and behavior.
New York: Whiley

ECCLES, J.C. (1969)
The coordination of information by cerebellar cortex.
In: S. Locke, Modern Neurology, S. 135-147.
Boston: Little, Brown and Co.

FIGOY, W., B. Schriever (1960)
Die Kraftfahrzeugeignung Jugendlicher. - Ein Beitrag zur Strukturanalyse nach Altersgruppen.
Forsch.-Bericht d. Ministeriums f. Wirtschaft und Verkehr des Landes Schleswig-Holstein 1960

FITTS, P.M., R.E. Jones, J.I. Milton (1950)
Eye movements of aircraft pilots during instrument landing approaches.
Aero Engr. Rev. 9, 1

FRANCK-HANUSCH, M.C. (1969)
Die Wirkung des Alkohols auf die raschen Blickzielbewegungen beim Menschen.
Dissertation, Univ. Freiburg

FUCHS, A.F., H.H. Kornhuber (1969)
Extraocular muscle afferents to the cerebellum of the cat.
Physiol. (Lond.) 200, S. 713-722

GERBERT, K. (1973)
Ergebnisse flugpsychologischer Studien über psychophysische Belastungen von Luftfahrzeugführern und Besatzungsmitgliedern.
In: Wehrpsychologische Untersuchungen 8,2, S. 35-50

GRAY, J.A. (1964)
Level of arousal in nervous systems.
Pergamon Press 1964, S. 296

HACKMANN, R.B. (1940)
An experiment study of variability in ocular latency.
J. Exp. Psychol. 27, S. 546-558

HAMPSON, J., C. Harrison, C. Wollsey (1952)
Cerebrocerebellar projection and the somatopic localization of motor function in the cerebellum.
Res. Publ. Ass. Nerv. Ment. Dis. 30, S. 299-316

HEBB, D.O. (1958)
A textbook of psychology.
Philadelphia: Saunders

HELD, R. (1970)
Two modes of processing spatially distributed information.
In: F.O. Schmitt (ed.) The Neurociences.
Second Study programm.
Rockefeller University Press, New York, 1970

HYDE, J. (1959)
Some characteristics of voluntary human ocular movements in the horizontal plane.
Am. J. Ophthalmol. 48, S. 85-94

ITO, M., M. Yoshida (1964)
The cerebellar-evoked monosynaptic inhibition of Deiter's neurons.
Experimentia (Basel), 20, S. 515-516

- , M. Yoshida, K. Obata (1964)
Monosynaptic inhibition of the intracerebellar nuclei induced from the cerebellar cortex.
Experimentia (Basel), 20, S. 575-576

KOMMERELL, G. (1976)
Adaptive programming of phasic and tonic components in saccadic eye movements. Investigations in patients with abducens palsy.
Investigative Ophthalmol. 15, S. 657-660

KORNHUBER, H.H. (1968)
In: D.M. MacKay, Neural communications: Experiment and theorie.
Science 159, S. 335-353

- (1968)
Neurology des Kleinhirns.
Zbl. ges. Neurol. Psychiat. 191, S. 13

KORNHUBER, H.H. (1971)
Das vestibuläre System, mit Exkursen über die motorischen Funktionen der Formatio retikularis, des Kleinhirns, der Stammganglien und des motorischen Cortex sowie über die Raumkonstanz der Sehdinge.
Vortrag auf der Erlanger Physiologentagung 1970.
Springer Verlag 1971

- (1971)
Motor functions of cerebellum and basal ganglia: the cerebello-cortical saccadic (ballistic) clock, the cerebello-nuclear hold regulator, and the basal ganglia ramp (voluntary speed smooth movement) generator.
Kybernetis 8, S. 157-162

KRIS, E.E. (1960)
Vision: Electro-Oculograph.
In: Medical Physics. S. 691-700. Year Book Publishers, Chicago, 1960

LEIBOWITZ, H., J. Dichgans (1977)
Zwei verschiedene Sehsysteme: Neue Untersuchungsergebnisse zur Raumorientierung.
UMSCHAU 77, 11, S. 353-354

LINDSLEY, B.C. (1951)
In: S.S. Stevens Handbook of Experimental psychology.
New York/London, S. 473-516

LUSCHEI, E.S. (1970)
Firing patterns of abducens neurons of alert monkey in relationship to horizontal eye movement.
J. Neurophysiol. 33, S. 282

MACKENSEN, G. (1958)
Die Geschwindigkeit horizontaler Blickbewegungen.
V. Graefes Archiv für Ophthalmol. 160, S. 47-64

MALMO, R.B. (1959)
Activation: A neuropsychological dimension.
Psychological Review 66, S. 367-386

MAYER, K. (1959)
Zur psychischen Struktur der Unfällerpersönlichkeit.
Z. f. Verk.-Sicherheit 5, S. 17-38

MILTON, I.L. (1952)
Analysis of pilots eye movements in flights.
J. Aviation, Med. 23, S. 67

MÜNSTERBERG, H. (1889)
Beiträge zur experimentellen Psychologie.
H., 1

PIPER, H.F. (1962)
Welche Gesichtssinnleistungen müssen vom Führer eines Kraftfahrzeuges verlangt werden?
Klin. Mbl. Augenheilk. 140, S. 405-425

ROBINSON, D.D. (1964)
The mechanics of human saccadic eye movements.
J. Physiol. (London), 174, S. 254-264

- (1968)
Eye movement control in primates.
Science 161, S. 1219-1224

ROBINSON, D.D., D.M. O'Meara, A.B. Scott,
C.C. Collins (1969)
Mechanical components of human eye movements.
J. appl. Physiol. 26, S. 548-553

SASLOW, M.G. (1967)
Latency for saccadic eye movement.
J. Opt. Soc. Am. 57, S. 1030-1033

SCHILLER, P.H. (1970)
The discharge characteristics of single units in the oculomotor and abducens nuclei of the unanestized monkey.
Exp. Brain. Res. 10, S. 347-362

SHIZUHIKO NISHITSATO (1966)
Reaction time as a function of arousal and anxiety.
Psychonom. Science 6, S. 157
Abstr. Aerosp.-Med. 38, S. 532 (1967)

SIMONOV, P.V., M.V. Frolov, V.F. Evtushenko,
E.P. Sviridov (1977)
Effect of emotional stress on recognition of visual patterns.
Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology
USSR Academy of Sciences, Moscow, USSR.
Aviat. Space Environ. Med. 48, (9), S. 856-858

SNIDER, R.S., E. Eldred (1952)
Cerebro-cerebellar relationship in the monkey.
J. Neurophysiol. 15, S. 27-40

SOKOLOV, Ye. N. (1958)
Translated by Waydenfeld, S.W.:
Original Moscow University Press 1958.
Perception and the conditioned reflex.
Pergamon Press 1963

STRASSER, H. (1974)
Technisch-physiologische Aspekte der Beziehung
Stress-Strain. Eine modell-theoretische Betrachtung.
Z. Arbeits-Med., Soz.-Med. 9, S. 212

TROOEST, B.T., Weber, R.B. Daroff (1972)
Hemispheric control of eye movements.
I. Quantitative analyses of refixation saccades in a
hemispherectomy patient.
Arch. Neurol. 27, S. 441-452

VOISSIUS, G. (1960/1961)
Das System der Augenbewegungen.
Z.Schr. f. Biologie 112, S. 27

VON NOORDEN, G.K., T.J. Prezeose (1966)
Eye movement recordings in neurological disorders.
Arch. Ophthalmol. 76, S. 162-171

WESTHEIMER, G. (1954)
Eye movement responses to a horizontally moving visual
stimulus.
A. M. A. Arch. Ophthalmol. 52, S. 932

- (1954)
Mechanism of saccadic eye movements.
Arch. Ophthalmol. 52, S. 710-724

WHITE, C.T., R.G. Eason, N.R. Barlett (1962)
Latency and duration of eye movements in horizontal plane.
J. Opt. Soc. Am. 52, S. 210-213

WURTZ, R.H., M.E. Goldberg (1971)
Superior colliculus cell responses related to eye movements in awake monkeys.
Science 171, S. 82

ZUBER, B.L., L. Stark (1966)
Saccadic suppression: evalution of visual thresholds associated with saccadic eye movements.
Expth. Neurol. 16, S. 65-79

Meinem verehrten akademischen Lehrer,
Herrn Professor Dr.med. Gerhard Ulbrecht,
danke ich für die Überlassung des Themas
und für die durch ihn erfahrene Förderung
dieser Arbeit.

LEBENSLAUF

Am 13. Januar 1950 wurde ich in Asel, Landkreis Hildesheim, als zweiter Sohn von vier Kindern des Maschinenschlossers Heinrich Köhler und dessen Ehefrau, der Hausfrau Gertrud, geb. Gäbke, geboren.

1956 erfolgte meine Einschulung in der Volksschule Asel, die ich bis zum Abschluß der 7. Klasse besuchte. Im Rahmen der Einführung der Mittelpunkt-Volksschulen in Niedersachsen mußte ich die 8. und 9. Klasse auf der Mittelpunkt-Volksschule Harsum besuchen, wo ich den Hauptschulabschluß erwarb. Auf der Zweijährigen Handelsschule an den Städtischen Handelslehranstalten Hildesheim erhielt ich die Mittlere Reife. Durch Umstellung des Schuljahresbeginns von Ostern auf Herbst in Niedersachsen konnte ich mich dann ein halbes Jahr auf den Besuch des Gymnasiums durch Selbststudium vorbereiten. Nach dreijährigem Besuch des Gymnasiums in Aufbauform Hildesheim, wirtschaftswissenschaftlicher Typ, erhielt ich am 20.05.1970 die allgemeine Hochschulreife.

Für die Zeit vom 01.07.1970 bis zum 31.10.1972 verpflichtete ich mich bei der Bundeswehr.

Im Wintersemester 1972/73 begann ich mein Studium an der Ludwig Maximilians-Universität München zunächst im Fach Veterinärmedizin und wechselte dann im Sommersemester 1973 an den Fachbereich Medizin. Nach zwölf Semestern Studium der Medizin legte ich im April 1979 den Dritten Abschnitt der Ärztlichen Prüfung in München ab.